



TUGAS AKHIR – MO.141326

**STUDI KOMPARASI PERILAKU GERAK *FLNG*
MASELA TERHADAP SISTEM TAMBAT *SPREAD*
MOORING DENGAN KONFIGURASI *SPREAD* DAN
*GROUP (BUNDLE)***

VIKRY CENDEKIAWAN

NRP. 4312100061

Dosen Pembimbing :

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko M.Sc., Ph.D

Murdjito M.Sc., Eng

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016



FINAL PROJECT – MO.141326

***COMPARASION STUDY OF FLNG MASELA MOTION
DUE TO SPREAD MOORING WITH SPREAD AND
GROUP CONFIGURATION***

VIKRY CENDEKIAWAN

NRP. 4312100061

Supervisors :

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko M.Sc., Ph.D

Murdjito M.Sc., Eng

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016

**“Studi Komparasi Perilaku Gerak *FLNG* Masela Terhadap Sistem Tambat
Spread Mooring Dengan Konfigurasi *Spread* dan *Group(Bundle)*”**

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Vikry Cendekiawan

NRP. 4312 100 061

Disetujui oleh:

1. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Murdjito M.Sc. Eng. (Pembimbing 2)

3. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. (Penguji 1)

4. Herman Pratikno, S.T.M.T, Ph.D. (Penguji 2)

SURABAYA, JULI 2016

ABSTRAK

Studi Komparasi Perilaku Gerak FLNG Masela Terhadap Sistem Tambat Spread Mooring Dengan Konfigurasi Spread dan Group(Bundle)”

Nama Mahasiswa : Vikry Cendekiawan
NRP : 43121001061
Jurusan : Teknik Kelautan FTK-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko M.Sc., Ph.D
Murdjito M.Sc., Eng

Sistem tambat *Spread mooring* yang digunakan pada suatu struktur terapung akan berdampak pada keterbatasan kemampuan *weathervaning* kapal , keadaan tersebut mengakibatkan besarnya gaya yang diterima oleh kapal akan sangat dipengaruhi oleh arah datang dari beban lingkungan serta penentuan lokasi tali tambat pada kapal. Tugas akhir ini membahas tentang komparasi *tension* dan perilaku gerak *FLNG* Masela terhadap sistem tambat *Spread mooring* dengan konfigurasi tersebar merata dengan sudut 30° (*Spread*) dan tersebar pada empat titik *Group (Bundle)* terhadap beban lingkungan dengan kondisi *collinear* dan *non-collinear*. Analisis dilakukan dengan metode *time domain simulation* yang dilakukan dengan *software Ariane* serta *Hydrostar* yang digunakan dalam permodelan *FLNG*. Pada kondisi pembebanan *collinear*, beban arus, angin dan gelombang datang dari arah yang sama, sedangkan pembebanan lingkungan kondisi *non-collinear* dimodelkan dengan arah datang angin dan gelombang yang berjarak 30° dari arah datang arus serta, arah datang dari arus, gelombang dan angin yang membentuk sudut sebesar 30° , dari hasil analisis diketahui bahwa pembebanan kondisi *collinear* memberikan *tension* dan *motion* yang lebih besar dari kondisi *non-collinear*, serta diketahui bahwa konfigurasi *Group* memberikan hasil *tension* dan *motion* yang lebih baik pada *FLNG* Masela

Kata Kunci — *FLNG, Spread Mooring, Collinear, Non-Collinear*

ABSTRACT

Comparation Study of FLNG Masela Motion Due to Spread Mooring System with Spread and Group Configuration

Author : Vikry Cendekiawan
NRP : 43121001061
Department : Teknik Kelautan FTK-ITS
Supervisor : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko M.Sc., Ph.D
Murdjito M.Sc., Eng

A floating structure with spread mooring system will results in limitation of weathervaning capability, that condition will caused the magnitude of force that acting on the structure will be strongly influenced by direction of environmental loads and the mooring lines fairlead's position. This Final Project objective is comparing mooring lines tension and FLNG Masela's motion which is moored by spread mooring with two configuration (Spread and Group) due to collinear and non-collinear environmental loads condition. Spread configuration is modelled consisting of 12 mooring lines which is located around the FLNG at 30° interval, Group configuration is arranged in 4 groups of 3 lines, with 2 groups is located at the bow of the FLNG and two groups at the stern. The Analyses done by using Ariane 8 software to performed time domain analysis and, Hydrostar software to create the computation model and also calculate the FLNG's hydrostatics and hydrodynamics properties. The collinear environment for the floating structure is caused by the combination of wave, wind and current move towards to floating structure in one direction only or is called as in-phase, which is move in one angle only. But in the non-collinear environment, the wind, wave and current move towards floating structure in different direction of angle. From the analysis, Group configuration provide smaller mooring lines tension magnitude and offset compared to Spread configuration, It also shows the collinear environmental loads condition generate greater impact to mooring lines tension and FLNG offset compared to non-collinear environmental condition.

Key Words — *FLNG, Spread Mooring, Collinear, Non-Collinear*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah dan karunia Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar. Sholawat serta salam juga penulis haturkan kepada junjungan seluruh umat manusia Rasulullah Muhammad SAW.

Tugas Akhir ini berjudul “*Studi Komparasi Perilaku Gerak FLNG Masela Terhadap Sistem Tambat Spread Mooring Dengan Konfigurasi Spread dan Group(Bundle)*”. Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tugas Akhir ini membahas tentang studi komparasi terhadap *tension* dan *motion* dari FLNG Masela terhadap sistem tambat *Spread Mooring* dengan konfigurasi *Spread* dan *Group*.

Saya menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penulisan penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga saya sangat mengharapkan kritik dan saran dari pihak lain. Akhir kata saya berharap penelitian ini bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan serta bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, 2016

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran dalam pengerjaan Tugas Akhir hingga selesainya Tugas Akhir ini . Saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Papa, Mama, Kakak, Uni yang tak kenal lelah mendoakan dan memberikan dukungan saya. Tugas Akhir ini saya persembahkan khusus untuk kedua orang tua saya.
2. Bapak Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing I saya dan Bapak Ir. Murdjito M.Sc. Eng. selaku dosen pembimbing II saya dalam tugas akhir.
3. *Bureau Veritas*, yang telah memberikan pelatihan serta izin untuk menggunakan *software Hydrostar 7.25* dan *Ariane* dalam pengerjaan tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Kelautan ITS yang telah memberikan ilmu, bantuan dan fasilitas kepada saya selama menjalani perkuliahan.
5. Seluruh teman-teman dari Jurusan Teknik Kelautan angkatan 2012 yang menjadi teman – teman selama pengerjaan tugas akhir ini
6. Keluarga Barudak yang menjadi teman bermain dan belajar yang selalu mendukung penulis pada saat mengerjakan tugas akhir ini

Serta semua pihak yang telah membantu namun tidak bisa saya sebutkan satu-persatu. Terima kasih atas bantuan, motivasi dan doanya sehingga saya mampu maju hingga sejauh ini dan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Semoga Allah melimpahkan rahmat-Nya kepada kita semua. Amin

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMAKASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH.....	5
1.3. TUJUAN PENELITIAN.....	5
1.4. MANFAAT PENELITIAN.....	6
1.5. BATASAN MASALAH.....	6
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	9
2.1. TINJAUAN PUSTAKA	9
2.2. DASAR TEORI	12
2.2.1. Teori Dasar Gerak Bangunan Laut	12
2.2.2. Konsep Pembebanan	14
2.2.3. Komposisi Pembebanan Lingkungan.....	15
2.2.4. Response Amplitude Operators (RAO)	19
2.2.5. Perilaku Bangunan Apung pada Gelombang Acak.....	20
2.2.6. Spread Mooring.....	25
2.2.7. Penentuan Panjang <i>Mooring Line</i>	26

2.2.8.	<i>Tension</i> pada Tali Tambat.....	28
2.2.9.	<i>Offset</i> Pada Struktur	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		31
3.1.	Diagram Alir	31
3.2.	Pengumpulan Data Penelitian	34
3.2.1.	Pengumpulan Data Struktur	34
3.2.2.	Pengumpulan Data Lingkungan (<i>Metoccean Data</i>)	36
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		39
4.1.	Permodelan Struktur pada <i>software Hydrostar</i>	39
4.1.1.	Permodelan Menggunakan Software Hydrostar 7.25	39
4.2.	Verifikasi Model	41
4.3.	Perhitungan Properti Hidrodinamik pada Hydrostar 7.25.....	43
4.4.	Permodelan pada Ariane 8	44
4.4.1.	Permodelan Struktur pada <i>software Ariane</i>	46
4.5.	Analisa Perilaku Gerak <i>FLNG</i> Masela Kondisi <i>Free Floating</i>	52
4.6.	Komparasi Tension dan Offset <i>FLNG</i> Masela dalam Analisa Time Domain ..	55
4.6.1.	Komparasi <i>Tension</i> dan <i>Offset FLNG</i> Masela pada Kondisi Pembebanan <i>Collinear</i>	55
4.6.2.	Komparasi <i>Tension</i> dan <i>Offset FLNG</i> Masela pada Kondisi Pembebanan <i>Non-Collinear I</i>	70
4.6.3.	Komparasi <i>Tension</i> dan <i>Offset FLNG</i> Masela pada Kondisi Pembebanan <i>Non-Collinear II</i>	85
4.6.4.	Komparasi Tension dan Offset <i>FLNG</i> Masela Pada Kondisi Ballast 101	
4.6.5.	Analisis Hasil Tension dan Offset Signifikan Terbesar Kondisi Pembebanan Collinear, Non-Collinear I dan, Non-Collinear II	104
4.6.6.	Analisis Hasil <i>Tension</i> dan <i>Offset FLNG</i> Masela Pada Kondisi Ballast 105	

BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	107
5.1.	Kesimpulan	107
5.2.	Saran	108
DAFTAR PUSTAKA		110

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 FLNG Prelude (http://www.shell.com)	2
Gambar 1.2 Ilustrasi spread mooring (http://www.bluewater.com)	3
Gambar 1.3 Konfigurasi Spread dan Group pada Spread mooring system	5
Gambar 2.1 Spread mooring pada FPSO (http://www.kepcorp.com)	11
Gambar 2.2 Six Degree Of Freedom	12
Gambar 2.3 Transformasi spektra gelombang menjadi spektra respons	21
Gambar 2.4 Catenary & Taut mooring system (http://www.dredgingengineering.com/moorings/overview)	25
Gambar 2.5: Konfigurasi posisi <i>mooring lines</i> (API RP 2P, 1987)	26
Gambar 2.6 Panjang minimum mooring lines (Faltinsen, 1990)	27
Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan penelitian tugas akhir	31
Gambar 3.2 Diagram alir pengerjaan penelitian tugas akhir (lanjutan)	32
Gambar 3.3 General Arrangement FLNG Masela	34
Gambar 3.4 Konfigurasi tali tambat: (a) Symmetrical 30° dan (b) Grouping	36
Gambar 3.5 Peta lokasi lapangan gas Abadi (INPEX)	36
Gambar 4.1 Isometric view model FLNG Masela	39
Gambar 4.2 Top View model FLNG Masela	40
Gambar 4.3 Side view model FLNG Masela	40
Gambar 4.4 Front view model FLNG Masela	40
Gambar 4.5 Back view model FLNG Masela	41
Gambar 4.6 Gambaran umum input software Ariane	45
Gambar 4.7 Skema pengerjaan Ariane	45
Gambar 4.8 Hasil Meshing pada Ariane	46
Gambar 4.9 Hydrodynamics Load Components	47
Gambar 4.10 Model Bottom Chain	48
Gambar 4.11 Model Wire Rope	49
Gambar 4.12 Model Top Chain	49
Gambar 4.13 Posisi Jangkar konfigurasi Group	50
Gambar 4.14 Posisi Jangkar konfigurasi Spread	50
Gambar 4.15 Pengaturan beban lingkungan pada Ariane	51
Gambar 4.16 Surge RAO FLNG Masela kondisi free floating	52
Gambar 4.17 Sway RAO FLNG Masela kondisi free floating	52
Gambar 4.18 Heave RAO FLNG Masela kondisi free floating	53
Gambar 4.19 Roll RAO FLNG Masela kondisi free floating	53

Gambar 4.20 Pitch RAO FLNG Masela kondisi free floating	54
Gambar 4.21 Yaw RAO FLNG Masela kondisi free floating	54
Gambar 4.22 <i>Tension</i> signifikan untuk konfigurasi <i>Spread</i> dan <i>Group</i> pada arah pembebanan 0°	61
Gambar 4.23 Offset signifikan pada untuk konfigurasi <i>Spread</i> dan <i>Group</i> pada arah pembebanan 0°	62
Gambar 4.24 <i>Tension</i> signifikan untuk konfigurasi <i>Spread</i> dan <i>Group</i> pada arah pembebanan 45°	63
Gambar 4.25 Offset signifikan arah x dan y untuk konfigurasi <i>Spread</i> dan <i>Group</i> pada arah pembebanan 45°	63
Gambar 4.26 <i>Tension</i> signifikan untuk konfigurasi <i>Spread</i> dan <i>Group</i> pada arah pembebanan 90°	64
Gambar 4.27 Offset signifikan untuk konfigurasi <i>Spread</i> dan <i>Group</i> pada arah pembebanan 90°	65
Gambar 4.28 <i>Tension</i> signifikan untuk konfigurasi <i>Spread</i> dan <i>Group</i> pada arah pembebanan 135°	66
Gambar 4.29 Offset signifikan untuk konfigurasi <i>Spread</i> dan <i>Group</i> pada arah pembebanan 135°	67
Gambar 4.30 <i>Tension</i> signifikan untuk konfigurasi <i>Spread</i> dan <i>Group</i> pada arah pembebanan 180°	68
Gambar 4.31 Offset signifikan untuk konfigurasi <i>Spread</i> dan <i>Group</i> pada arah pembebanan 180°	68
Gambar 4.32 <i>Tension</i> pada L7 konfigurasi <i>Group</i> pada arah pembebanan 90°	69
Gambar 4.33 <i>Tension</i> pada L4 konfigurasi <i>Spread</i> pada arah pembebanan 90°	69
Gambar 4.34 <i>Tension</i> signifikan pada konfigurasi <i>Spread</i> dan <i>Group</i> untuk arah pembebanan 0° -30° -30°	76
Gambar 4.35 Offset signifikan pada konfigurasi <i>Spread</i> dan <i>Group</i> untuk arah pembebanan 0° -30° -30°	77
Gambar 4.36 <i>Tension</i> signifikan pada konfigurasi <i>Spread</i> dan <i>Group</i> untuk arah pembebanan 45°-75°-75°	78
Gambar 4.37 Offset signifikan pada konfigurasi <i>Spread</i> dan <i>Group</i> untuk arah pembebanan 45°-75°-75°	78
Gambar 4.38 <i>Tension</i> signifikan pada konfigurasi <i>Spread</i> dan <i>Group</i> untuk arah pembebanan 90°-120°-120°	79

Gambar 4.39 Offset signifikan pada konfigurasi Spread dan Group untuk arah pembebanan 90° -120° -120°	80
Gambar 4.40 Tension signifikan pada konfigurasi Spread dan Group untuk arah pembebanan 135° -165° -165°	81
Gambar 4.41 Offset signifikan pada konfigurasi Spread dan Group untuk arah 135° -165° -165°	81
Gambar 4.42 Tension signifikan pada konfigurasi Spread dan Group untuk arah pembebanan 180° -210° -210°	82
Gambar 4.43 Offset signifikan pada konfigurasi Spread dan Group untuk arah pembebanan 180° -210° -210°	83
Gambar 4.44 Tension pada L7 pada konfigurasi Group pada arah pembebanan 90°-120°-120°	84
Gambar 4.45 Tension pada L7 pada konfigurasi Group pada arah pembebanan 90°-120°-120°	84
Gambar 4.46 Tension signifikan pada konfigurasi Spread dan Group untuk arah pembebanan 0° -30° -60°	91
Gambar 4.47 Offset signifikan pada konfigurasi Spread dan Group untuk arah pembebanan 0° -30° -60°	92
Gambar 4.48 Tension signifikan pada konfigurasi Spread dan Group untuk arah pembebanan 45°-75°-105°	93
Gambar 4.49 Offset signifikan pada konfigurasi Spread dan Group untuk arah pembebanan 45°-75°-105°	94
Gambar 4.50 Tension signifikan pada konfigurasi Spread dan Group untuk arah pembebanan 90°-120°-150°	95
Gambar 4.51 Offset signifikan pada konfigurasi Spread dan Group untuk arah pembebanan 90°-120°-150°	95
Gambar 4.52 Tension signifikan pada konfigurasi Spread dan Group untuk arah pembebanan 135°-165°-195°	96
Gambar 4.53 Offset signifikan pada konfigurasi Spread dan Group untuk arah pembebanan 135°-165°-195°	97
Gambar 4.54 Tension signifikan pada konfigurasi Spread dan Group untuk arah pembebanan 180°-210°-240°	98
Gambar 4.55 Offset signifikan pada konfigurasi Spread dan Group untuk arah pembebanan 180°-210°-240°	99

Gambar 4.56 Tension pada L4 pada konfigurasi Group pada arah pembebanan 90°-120°-150°	100
Gambar 4.57 Tension pada L3 pada konfigurasi Spread pada arah pembebanan 45°-75°-105°	100
Gambar 4.58 Tension signifikan pada konfigurasi Spread dan Group yang dihasilkan pada FLNG kondisi ballast untuk arah pembebanan 90°	102
Gambar 4.59 Offset signifikan pada konfigurasi Spread dan Group yang dihasilkan pada FLNG kondisi ballast untuk arah pembebanan 90°	103

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Amplitudo dan tinggi gelombang pada spektrum	22
Tabel 2.2 Spektrum gelombang untuk beberapa daerah (Chakrabarti, 1987).....	23
Tabel 3.1 General dimension FLNG Masela.....	34
Tabel 3.2 Data Mooring Lines FLNG Masela.....	35
Tabel 3.3 Mooring lines properties	35
Tabel 3.4 Data Metocean periode ulang 200 tahunan	37
Tabel 4.1 Properti hidrostatik FLNG Masela	41
Tabel 4.2 ABS MODU(2012) Computation model acceptable tolerances	42
Tabel 4.3 Tabel verifikasi FLNG Masela.....	43
Tabel 4.4 Letak <i>fairlead</i> pada konfigurasi <i>spread</i>	46
Tabel 4.5 Letak fairlead pada konfigurasi group	47
Tabel 4.6 Data mooring lines	48
Tabel 4.7 Posisi Jangkar konfigurasi Group	50
Tabel 4.8 Posisi Jangkar konfigurasi Spread.....	50
Tabel 4.9 Skenario pembebanan.....	51
Tabel 4.10 Ringkasan tension signifikan pada tali dan offset pada arah pembebanan 0° (L1)	56
Tabel 4.11 Ringkasan maksimum tension pada tali dan offset pada arah pembebanan 45° (L3)	57
Tabel 4.12 Ringkasan tension signifikan pada tali dan offset pada arah pembebanan 90° (L4)	58
Tabel 4.13 Ringkasan maksimum tension pada tali dan offset pada arah pembebanan 135° (L5)	59
Tabel 4.14 Ringkasan tension signifikan pada tali dan offset pada arah pembebanan 180° (L7)	60
Tabel 4.15 Ringkasan tension signifikan pada konfigurasi Spread dan Group kondisi pembebanan collinear.....	70
Tabel 4.16 Ringkasan tension signifikan tali tambat pada konfigurasi Spread dan Group dan offset pada arah pembebanan 0°-30°-30° (L2)	71
Tabel 4.17 Ringkasan tension signifikan pada tali tambat dan offset pada arah pembebanan 45°-75°-75° (L3)	72

Tabel 4.18 Ringkasan tension signifikan pada tali tambat dan offset pada arah pembebanan 90°-120°-120° (L5).....	73
Tabel 4.19 Ringkasan tension signifikan pada tali tambat dan offset pada arah pembebanan 135°-165°-165° (L7)	74
Tabel 4.20 Ringkasan tension signifikan pada tali tambat dan offset pada arah pembebanan 180°-210° -210° (L8).....	75
Tabel 4.21 Ringkasan tension signifikan tali tambat kondisi pembebanan non-collinear I	85
Tabel 4.22 Ringkasan tension signifikan pada tali tambat dan offset pada arah pembebanan 0°-30 °-60° (L2)	86
Tabel 4.23 Ringkasan tension signifikan pada tali tambat dan offset pada arah pembebanan 45°-75°-105° (L3).....	87
Tabel 4.24 Ringkasan <i>tension</i> signifikan pada tali tambat dan <i>offset</i> pada arah pembebanan 90°-120°-150° (L5).....	88
Tabel 4.25 Ringkasan tension signifikan pada tali tambat dan offset pada arah pembebanan 135°-165 °-195 ° (L7)	89
Tabel 4.26 Ringkasan tension signifikan pada tali tambat dan offset pada arah pembebanan 180°-210 °-240 ° (L8)	90
Tabel 4.27 Ringkasan tension signifikan pada tali tambat kondisi pembebanan non-collinear II.....	100
Tabel 4.28 Ringkasan tension signifikan pada tali dan offset pada arah pembebanan 90° pada FLNG kondisi ballast (L4).....	101
Tabel 4.29 Perbandingan besarnya tension signifikan pada konfigurasi Spread dan Group untuk kondisi pembebanan collinear, non-collinear I dan, non-collinear II.	104
Tabel 4.30 Perbandingan besar tension dan offset signifikan pada konfigurasi Spread dan Group pada kondisi full load dan ballast dengan arah pembebanan collinear 90°	106

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Blok Masela terletak di lepas pantai Laut Arafura sekitar 155 km arah barat daya Kota Saumlaki yang berbatasan langsung dengan Australia dan Timor Leste. Rencana pengembangan (*plan of development/POD*) Masela disetujui pemerintah pada Desember 2010 atau 12 tahun setelah kontrak ditanda-tangani pada November 1998. Sesuai dengan proposal rencana pengembangan, Blok Masela akan memproduksi gas 355 juta kaki kubik (MMSCFD) dan kondensat 8.400 barel per hari. INPEX Ltd akan membangun kilang *LNG* terapung (*floating LNG plant*) berkapasitas 2,5 juta ton per tahun (INPEX,2011). Pada November 2012 hingga November 2014, INPEX telah menyelesaikan *Front End Engineering and Design* (FEED) untuk SURF (*Subsea, Umbilical, Riser, and Flowline*) dan *FLNG* design berdasarkan POD-1. Namun berdasarkan evaluasi terhadap pengeboran pada *Appraisal well* pada Juni 2013 hingga April 2014, INPEX mengkonfirmasi bahwa adanya cadangan yang lebih besar pada Abadi *field*. Lapangan gas Abadi mengandung cadangan cukup untuk mendukung produksi tahunan dari 7,5 juta ton *LNG* selama lebih dari 20 tahun, serta 24.000 barel kondensat per hari Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, INPEX mengambil keputusan untuk membangun fasilitas baru untuk proses produksi gas.

Sebelumnya dengan cadangan gas di Masela yang cukup besar terdapat dua skenario untuk pengembangannya, yaitu:

1. Ditransfer menggunakan pipa ke pulau terdekat, namun dengan tantangan harus melewati palung yang dalam sekali.
2. Dikembangkan di tengah laut dengan *floating LNG plant & storage*

Untuk opsi 1, di mana *LNG* akan ditransfer menggunakan pipa ke pulau terdekat, kemungkinan besar tidak dapat dilakukan, sebab adanya pertimbangan keamanan karena harus melewati palung yang dalam sekali. Dengan keadaan lokasi yang terletak dilaut dengan kedalaman 400 - 800 meter dan terletak di laut Arafura, sekitar 150 km dari pantai Saumlaki provinsi Maluku, sangat cocok untuk membangun sebuah *FLNG* dibandingkan membangun jaringan pipa hingga pulau terdekat, di tambah lagi, kondisi angin dan gelombang yang relatif rendah

menjadikan pembangunan *FLNG* merupakan keputusan yang paling efisien untuk dilaksanakan. Pada prinsipnya *floating LNG plant* merupakan penggabungan teknologi pencairan, transportasi, penyimpanan, dan regasifikasi *LNG*. Pada saat ini *FLNG* sudah banyak digunakan dalam dunia industri migas, pada saat ini *FLNG* yang memiliki ukuran terbesar ialah *FLNG Prelude* yang dimiliki oleh Shell.



Gambar1.1 *FLNG Prelude* (<http://www.shell.com>)

Secara umum, proses *design* dan pengerjaan sebuah fasilitas *FLNG* berbeda dengan proses *design* sebuah kapal pada umumnya, perbedaan ini terdapat pada diperlukannya keandalan *FLNG* untuk tetap beroperasi dalam jangka waktu yang panjang pada lokasi tanpa harus *dry docking*, salah satu faktor *design* yang membedakan *FLNG* dan kapal lainnya adalah desain *layout* dari *FLNG* itu sendiri, seperti pada Gambar 1.1 sebuah *FLNG* memerlukan peralatan serta *compartment – compartment* dengan ukuran yang besar sehingga, dalam tahap ini perlu dilakukan analisa seperti *fire and explosion analysis*, *gas dispersion analysis*, dimana kedua hal ini sangat mempengaruhi tata letak peralatan dan *layout* pada *FLNG*. Selain itu masih banyak aspek yang harus diperhatikan dalam perencanaan sebuah *FLNG*, diantaranya;

1. Ukuran utama *vessel & general arrangement*
2. *Hull stability & strength analyses*
3. *Vessel motion analyses*
4. *Mooring system and station keeping analysis*
5. *Riser system analysis*
6. *Turret system analysis*
7. *Process plant layout*

Ketika masa operasi, Sebuah *FLNG* dapat mengalami pergerakan signifikan yang diakibatkan oleh beberapa sebab, diantaranya beban lingkungan yang datang dari arah *beam seas*, yang tidak hanya dapat terjadi pada *FLNG* yang terpancang dengan *spread mooring system* yang mengakibatkan kapal tidak dapat ber-*weathervaning*, namun juga dalam kasus sistem tambat lain dimana ketika keadaan beban lingkungan yang bekerja pada *FLNG* bersifat *non-collinear*. Karenanya, sangat penting untuk memilih sistem yang paling tepat dalam penambatan *FLNG*, beberapa jenis sistem tambat yang digunakan adalah:

1. *Spread Mooring*
2. *Internal/External Turret*
3. *Disconnectable turret mooring*

Spread mooring adalah sistem tambat yang terdiri dari kombinasi *chain*, *wire*, atau *fiber rope*, yang diletakkan pada beberapa titik pada kapal seperti yang di ilustrasikan pada Gambar 1.2, tali- tali tersebut akan dihubungkan dengan jangkar untuk menjaga posisi dari kapal. Dengan sistem tambat yang tidak terhubung dengan sistem riser, jumlah *riser* yang digunakan dapat lebih banyak dan sistem tambat ini cocok untuk keadaan laut yang tenang dan banyak digunakan di perairan Afrika Selatan dan Indonesia. Kelebihan dari sistem tambat ini adalah biaya yang diperlukan akan lebih rendah dibandingkan dengan sistem *Turret mooring*, namun kelemahan utama dari sistem tambat ini adalah keterbatasannya kemampuan *weathervaning* kapal yang diakibatkan oleh posisi *mooring line* yang tidak dapat berpindah.



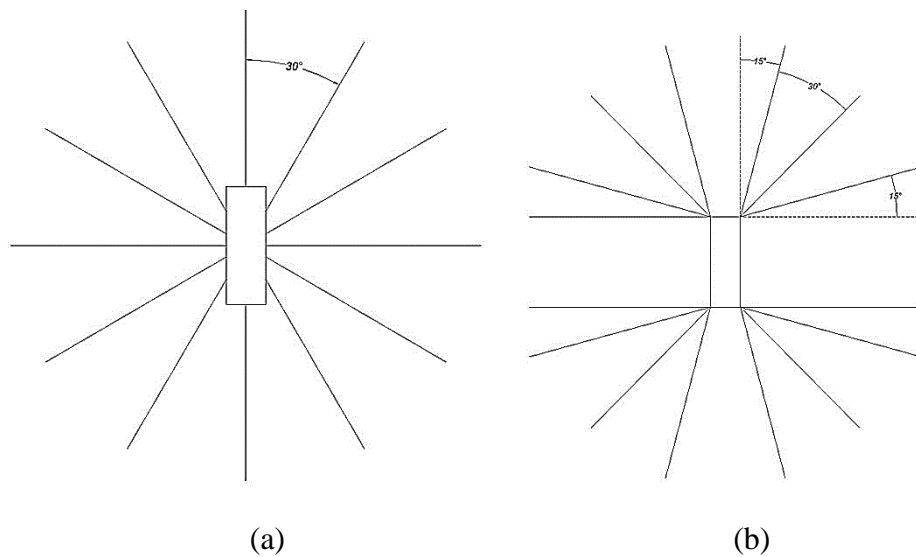
Gambar 1.2 Ilustrasi *spread mooring* (<http://www.bluewater.com>)

Siswanto (2013) pernah melakukan penelitian mengenai studi komparatif pada tegangan dan *offset* dari sistem *spread mooring* dengan konfigurasi yang berbeda. Dalam penelitiannya digunakan konfigurasi *mooring* dengan jumlah *mooring lines* 8 yang divariasikan pada konfigurasi sudut sebar 30° - 60° , simetris 45° , dan sudut sebar 45° - 90° yang digunakan pada *Semisubmersible* Essar Wildcat pada perairan Natuna. Dari hasil penelitiannya menunjukkan bahwa variasi konfigurasi sudut sebar *mooring lines* pada sistem tambat *spread mooring* akan menghasilkan *tension* dan *offset* yang berbeda-beda pada setiap *mooring lines* nya.

Baar (2000) melakukan penelitian tentang pengaruh beban *non-collinear* pada *FPSO* dengan sistem tambat *internal turret*, hasil dari penelitiannya mengatakan bahwa *FPSO* dengan sistem tambat *turret* sangat sensitif terhadap beban lingkungan dengan arah datang *non-collinear*.

Analisis mengenai kombinasi arah datang beban lingkungan juga dibahas dalam *rules* untuk memastikan bahwa struktur yang digunakan tetap aman ketika beroperasi. Kombinasi arah datang beban lingkungan yang dianjurkan adalah menganalisis sistem tambat dengan arah datang beban lingkungan *collinear*, serta arah datang *non-collinear* dimana arah datang angin dan arus membentuk sudut 30° dari arah datang gelombang, serta arah datang angin membentuk sudut 30° terhadap gelombang, arah datang arus membentuk sudut 90° terhadap gelombang. (Lloyd Register, 2013)

Tugas akhir ini membahas tentang komparasi antara dua konfigurasi *mooring lines* pada sistem tambat *Spread mooring FLNG* Masela, yakni *symmetrical* 30° dan *group mooring*, dengan jumlah *mooring lines* sebanyak 12 buah yang ditunjukkan pada Gambar 1.3. *FLNG* akan dikenakan beban lingkungan yang terdiri dari beban gelombang, arus dan angin dengan arah datang *collinear* dan *non-collinear*, komparasi konfigurasi sistem *mooring* ini bertujuan untuk mendapatkan konfigurasi *mooring lines* mana yang menghasilkan *offset* dan *tension* yang paling kecil terhadap kapal dan juga *mooring lines* nya.



Gambar 1.3 Konfigurasi *Spread* dan *Group* pada *Spread mooring system*

1.2. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan dalam latar belakang di atas, maka beberapa masalah yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana perilaku gerak *FLNG* Masela pada saat kondisi *free floating*
2. Bagaimana *tension* dan *offset* yang dihasilkan dari kedua variasi konfigurasi sistem mooring pada *FLNG* Masela akibat beban lingkungan *collinear*
3. Bagaimana *tension* dan *offset* yang dihasilkan dari kedua variasi konfigurasi sistem mooring pada *FLNG* Masela akibat beban lingkungan *non-collinear*

1.3. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang ingin dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui RAO (*Response Amplitude Operator*) *FLNG* Masela pada saat kondisi *free floating*
2. Mengetahui *tension* dan *offset* yang dihasilkan dari kedua variasi konfigurasi sistem *mooring* pada *FLNG* Masela akibat beban gelombang *collinear*

3. Mengetahui *tension* dan *offset* yang dihasilkan dari kedua variasi konfigurasi sistem *mooring* pada *FLNG* Masela akibat beban gelombang *non-collinear*

1.4. MANFAAT PENELITIAN

Dari hasil pengerjaan tugas akhir ini diharapkan dapat mengetahui konfigurasi *spread mooring* mana yang menghasilkan respon gerak dan *tension* pada *mooring lines* paling baik pada *FLNG* Masela untuk mendukung fungsi operasionalnya serta, mengetahui pengaruh pembebanan lingkungan dengan arah *collinear* dan *non-collinear* pada *tension* tali tambat serta *offset* kapal.

1.5. BATASAN MASALAH

Dengan banyaknya komponen variabel yang akan dikaji dalam studi ini sehingga akan menyulitkan dalam penganalisisan. Oleh sebab itu agar memudahkan dalam menganalisis permasalahan yang ada maka perlu diberikan batasan-batasan yang diharapkan analisis yang dilakukan dapat memberikan hasil yang maksimal. Adapun batasan masalah yang diberikan dalam studi ini adalah sebagai berikut:

1. Beban-beban yang ditinjau adalah beban angin, beban gelombang, dan beban arus dengan arah sudut datang 0° , 45° , 90° , 135° dan, 180° .
2. Gerak *FLNG* yang ditinjau adalah gerak arah *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* dan *yaw*.
3. Permodelan *FLNG* memakai *software Hydrostar*.
4. Perhitungan RAO gerakan *FLNG* menggunakan *software Hydrostar*.
5. Riser tidak dimodelkan.
6. Perhitungan *tension* yang terjadi pada *mooring lines* dan *offset FLNG* menggunakan *software Ariane 7.0*.
7. Analisa dinamis menggunakan metode analisa *time domain*.
8. Analisa yang dilakukan hanya membandingkan karakteristik *tension* dan *offset* yang terjadi pada konfigurasi *Spread* dan *Group*, tanpa melakukan pengecekan kekuatan tali tambat berdasarkan *codes*.
9. Jangkar dianggap *fixed*, sehingga tidak dilakukan analisa mengenai *holding capacity*

10. Kriteria kondisi lingkungan yang digunakan adalah 200 tahunan untuk gelombang, angin dan arus.

1.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan tugas akhir ini dimulai dari BAB I yaitu pendahuluan yang menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan tugas akhir, manfaat yang diperoleh, serta ruang lingkup penelitian untuk membatasi analisis yang dilakukan dalam tugas akhir.

Pada BAB II (dua) yaitu tinjauan pustaka dan dasar teori yang berisi referensi dan juga teori-teori pendukung yang digunakan sebagai acuan atau pedoman dalam menyelesaikan tugas akhir. Referensi tersebut bersumber pada jurnal lokal maupun internasional, literatur, *rules/code* dan juga buku yang berkaitan dengan topik yang berhubungan dengan pengaruh arah datang dan beban lingkungan terhadap *tension* tali tambat dan *offset* pada kapal

Pada bab berikutnya yaitu BAB III (tiga) yang berisi tentang alur pengerjaan tugas akhir dengan tujuan untuk memecahkan masalah yang diangkat dalam bentuk diagram alir atau *flow chart* yang disusun secara sistematis yang dilengkapi pula dengan data-data penelitian serta penjelasan detail untuk setiap langkah pengerjaannya. Pada bab ini dijelaskan antara lain melakukan permodelan dengan bantuan *software Hydrostar* dan *Ariane* untuk mencari perilaku gerak FLNG dalam keadaan *free floating* dan perilaku gerak FLNG pada saat tertambat beserta besarnya *tension* pada tali tambat pada saat pembebanan *collinear* dan *non-collinear*.

Pada BAB IV(empat) yaitu tentang analisis dan pembahasan yang isinya menjelaskan tentang pengolahan data yang diperoleh, kemudian pemodelan gerak dari FLNG. Selanjutnya, dalam bab ini juga dilakukan pembahasan dan pengolahan *output* yang diperoleh dari *running software* yang mencakup analisis gerakan struktur saat *free floating*, serta menghitung *tension* pada *mooring lines system* di FLNG yang diakibatkan adanya beban lingkungan kondisi *collinear* dan *non-collinear*.

Pada BAB V berisi kesimpulan yang merupakan uraian singkat dari keseluruhan hasil analisis. Uraian singkat ini diharapkan bisa menjawab rumusan

masalah yang ada pada Bab I. Pada bab ini juga berisikan saran yang bermanfaat guna keberlanjutan penelitian terkait kedepannya.

Pada bagian terakhir dalam tugas akhir ini yaitu daftar pustaka yang menampilkan seluruh informasi dan dokumen tertulis yang dijadikan landasan dan pengembangan penelitian. Penulisan daftar pustaka ini mengikuti *Harvard system*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. TINJAUAN PUSTAKA

Secara garis besar, menurut Soedjono (1998) konstruksi anjungan lepas pantai dapat dibedakan menjadi 3 golongan utama, yaitu :

- Anjungan terapung (*Mobile Offshore Drilling Unit/MODU* atau *Floating Production Platform*) seperti : *semi submersible, drilling ship, tension leg platform, jack-up, FPSO*, dll.
- Anjungan terpancang (*Fixed Offshore Platform*), seperti : *jacket platform, concrete gravity, tripod*, dll.
- Anjungan struktur lentur (*Compliant Platform*), seperti : *Articulated Tower, Guyed tower*, dll.

Pemilihan konsep struktur merupakan tahapan awal yang sangat penting bagi keberhasilan struktur anjungan dalam menjalani fungsinya (Soedjono, 1998). Pada perairan tertentu sumber minyak dan gas alam biasanya mempunyai volume antara kecil hingga sedang dan berada pada lokasi yang berpencar. Sehingga pengoperasian anjungan terpancang (*fixed platform*) menjadi tidak ekonomis lagi. Oleh karena itu pemilihan anjungan terapung (*floating platform*) adalah hal yang paling tepat.

Anjungan terapung merupakan anjungan yang mempunyai karakter bergerak mengikuti gerakan gelombang. Seringkali anjungan tipe ini dihubungkan dengan dasar laut menggunakan peralatan mekanik seperti kabel atau rantai (*mooring*). Untuk anjungan tipe ini yang utama adalah mobilitas dan kemampuannya mengantisipasi gerakan akibat gelombang dan arus laut (Djarmiko, 2003).

Bangunan apung yang tertambat di laut akan terpengaruh oleh gaya yang cenderung mengakibatkan kapal tersebut bergerak dari posisi semula, yang dipengaruhi oleh bentuk geometri dari bangunan itu sendiri, sistem penambatan, dan gaya gaya dari luar yang bekerja pada struktur (Battacharya, 1978).

Salah satu jenis anjungan terapung adalah *FLNG*. Seiring dengan perkembangan zaman, *FLNG* menjadi suatu opsi yang dipilih sebuah perusahaan untuk mengeksplorasi ladang gas yang kecil atau untuk mengembangkan produksi pada ladang gas yang besar, penggunaan *FLNG* mengakomodasi fungsi dari

anjung lepas pantai, jaringan pipa bawah laut, fasilitas produksi di pantai yang akan mengurangi *cost structure* sangat signifikan. *FLNG* ini terdiri dari sebuah struktur pengapung berbentuk kapal (bangunan baru atau dari modifikasi kapal tanker yang dialihfungsikan) yang secara permanen ditambatkan ditempatnya beroperasi. Konfigurasi sistem tambatnya bisa berupa jenis tambat menyebar (*spread mooring type*) dan sistem tambat titik tunggal (*single point mooring*)

Pengetahuan tentang perilaku struktur terapung (*floating structures*) termasuk *FLNG* pada laut lepas adalah persyaratan dasar dalam pengembangan teknologi laut dalam yang berkelanjutan. Di sisi lain, laut lepas memiliki karakteristik lingkungan sendiri. Karena itu pengetahuan tentang perkiraan respon sebuah struktur pada suatu lingkungan tertentu sangatlah penting. Menurut Yilmaz dan Incecik (1994), dengan menghitung beban-beban lingkungan secara komprehensif akan diketahui respon dinamis *FLNG*.

Pada umumnya respon kapal, *mooring lines* dan *riser* tidak dapat dipisahkan satu sama lain. *Offset* pada *FLNG* dipengaruhi oleh sistem *mooring* dan *riser*, sedangkan *offset mooring* tergantung pada karakteristik gerakan *FLNG* yang bisa berubah-ubah disebabkan oleh gaya pengembali (*restoring force*) dan gaya redaman (*damping force*) dari sistem *mooring* dan *riser* (Chen,1994). Aspek harus menjadi catatan bahwa *offset* pada *FLNG* cukup sensitif terhadap nilai redaman *mooring* dan *riser*. Nilai redaman tergantung pada amplitudo dan frekuensi gerakan *FLNG*. Respon *mooring* dan *riser* sebagian besar non-linier dengan frekuensi natural dan tidak sama dengan rentang frekuensi gerakan FPSO (Aryawan,2005).

Salah satu tujuan perhitungan respon dinamis struktur adalah untuk mendapatkan respon ekstrem dari sistem (gerakan ekstrem, *offset mooring* ekstrem, *tension riser* ekstrem). Cara konvensional untuk melakukan analisa adalah dengan menganalisa respon struktur untuk satu desain data lingkungan misalnya gelombang signifikan 100 tahun, kecepatan angin 100 tahun dan arus 100 tahun. (API,2005)

Spread mooring adalah sistem *mooring* yang menambat kapal dengan beberapa grup dari *mooring lines* yang terletak di haluan dan buritan pada kapal, tali – tali tersebut terhubung langsung dengan *fairlead* yang terpasang pada kapal, seperti pada Gambar 2.1 *fairlead* pada kapal berlokasi di empat titik pada kapal,

yaitu pada bagian kiri dan kanan haluan kapal, serta pada bagian kiri dan kanan haluan kapal, besarnya gaya yang menarik *mooring lines* mengharuskan lambung kapal memerlukan struktur penguat tambahan agar dapat memberikan dukungan yang kuat bagi *mooring lines*. Desain sistem *mooring* membutuhkan simulasi waktu yang cukup lama serta proses *trial and error* akibat banyaknya jumlah parameter desain yang ada, bahkan untuk memberikan kondisi lingkungan beberapa parameter dibutuhkan seperti penempatan *mooring* pada *vessel*, jumlah dan properti *mooring lines*, panjang dan susunan tali, orientasi dan *pre-tension* tali, lokasi dan *pre-tension riser* (Kim dan Bernitsas,2001).

Selain mempertimbangkan penempatan tali tambat, aspek lain yang harus dipertimbangkan dalam memodelkan *Spread Mooring* ialah pemilihan material untuk tali tambat. Penelitian yang dilakukan oleh Haslum (2005) menunjukkan bahwa kombinasi *chain-polyester-chain* pada *platform* Red Hawk, dapat mereduksi nilai *offset* dari *platform* serta mengurangi penggunaan tali tambat berjenis *chain* pada suatu *platform*.

Arah datang beban lingkungan akan sangat berpengaruh dalam penentuan heading dari kapal, dalam *spread mooring*, arah *heading* dari kapal diusahakan agar searah dengan arah datang nya beban gelombang yang paling dominan, sehingga beban yang bekerja pada kapal akan lebih kecil jika dibandingkan apabila beban datang dari arah beam seas. *Spread Mooring* sering digunakan pada suatu lokasi yang relatif tenang dan mempunyai perubahan arah pembebanan yang cenderung konstan/tidak besar (PT. PGN,2010)



Gambar 2.1 *Spread mooring* pada FPSO (<http://www.kepcorp.com>)

2.2. DASAR TEORI

2.2.1. Teori Dasar Gerak Bangunan Laut

Pada dasarnya benda yang mengapung mempunyai enam mode gerakan bebas yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu tiga mode gerakan translasional dan tiga mode gerakan rotasional (Soetomo,2010). Berikut adalah keenam mode gerakan tersebut:

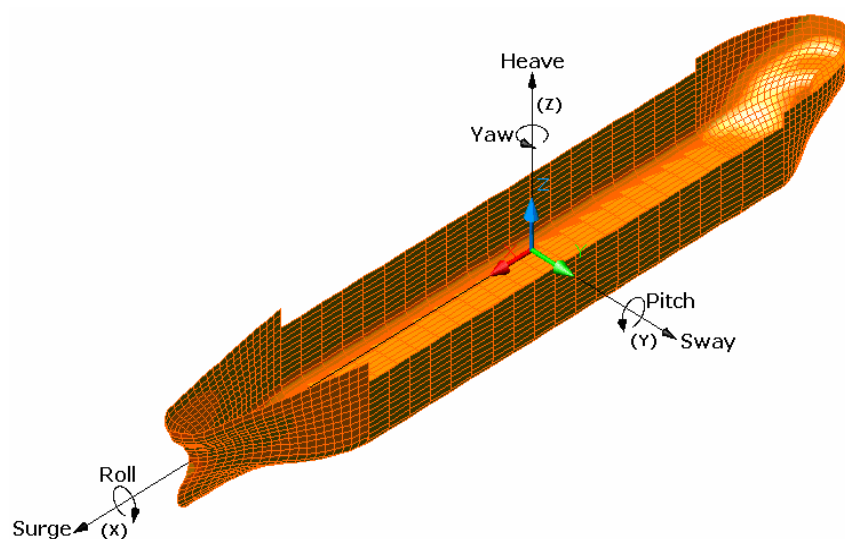
1. Mode gerak translasional

- *Surge*, gerakan transversal arah sumbu x
- *Sway*, gerakan transversal arah sumbu y
- *Heave*, gerakan transversal arah sumbu z

2. Mode gerak rotasional

- *Roll*, gerakan rotasional arah sumbu x
- *Pitch*, gerakan rotasional arah sumbu y
- *Yaw*, gerakan rotasional arah sumbu z

Definisi gerakan bangunan laut dalam enam derajat kebebasan dapat dijelaskan dengan Gambar 2.2. Dengan memakai konversi sumbu tangan kanan tiga gerakan translasi pada arah sumbu x,y dan z, adalah masing-masing *Surge* (ζ_1), *Sway* (ζ_2) dan *Heave* (ζ_3), sedangkan untuk gerakan rotasi terhadap ketiga sumbu adalah *Roll* (ζ_4), *Pitch* (ζ_5) dan *Yaw* (ζ_6).



Gambar 2.2 *Six Degree Of Freedom*

Dengan asumsi bahwa gerakan-gerakan osilasi tersebut adalah linier dan harmonik, maka enam persamaan diferensial gerakan kopel dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sum_{n=1}^6 \left[(M_{jk} + A_{jk}) \ddot{\xi}_k + B_{jk} \dot{\xi}_k + C_{jk} \xi_k \right] = F_j e^{i\omega t}, j = 1 \quad (2.1)$$

dengan

M_{jk} = Matriks massa dan momen inersia massa bangunan laut,

A_{jk} = Matriks koefisien-koefisien massa tambah hidrodinamik,

B_{jk} = Matriks koefisien-koefisien redaman hidrodinamik,

C_{jk} = Matriks koefisien-koefisien kekakuan atau gaya dan momen hidrostatik,

F_j = Matriks gaya eksitasi (F_1, F_2, F_3) dan momen eksitasi (M_4, M_5, M_6) dalam fungsi kompleks (dinyatakan oleh $e^{i\omega t}$),

F_1 = Gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *Surge*,

F_2 = Gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *Sway*,

F_3 = Gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *Heave*,

M_4 = Momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *Roll*,

M_5 = Momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *Pitch*,

M_6 = Momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *Yaw*,

ξ_k = Elevasi gerakan pada moda ke k ,

$\dot{\xi}_k$ = Elevasi kecepatan gerak pada moda ke k ,

$\ddot{\xi}_k$ = Elevasi percepatan gerak pada moda ke k .

Persamaan 2.1 menunjukkan hubungan antara gaya aksi dan reaksi. Gaya aksi direpresentasikan oleh suku pada ruas kanan, yang merupakan eksitasi gelombang

terhadap bangunan apung. Gaya reaksi ditunjukkan oleh suku – suku di ruas kiri, yang terdiri dari gaya inersia, redaman dan gaya pengembali, masing masing komponen tersebut berkorelasi dengan percepatan gerak, kecepatan gerak, dan simpangan atau *displacement* gerakan (Djarmiko,2012)

Langkah berikutnya dalam menyelesaikan persamaan gerak adalah menentukan harga koefisien-koefisien massa tambah, redaman dan hidrostatik. Dari persamaan gerak ini didapatkan hasil berupa karakteristik gerakan kapal. Informasi ini pada umumnya disajikan dalam bentuk grafik, di mana perbandingan gerakan pada mode tertentu ζ_j dengan parameter tinggi (atau amplitudo gelombang, ζ_a) diberikan sebagai fungsi frekuensi ω dari sumber eksitasi. Informasi gerakan yang demikian ini dinamakan *Response Amplitudo Operator (RAO)*.

2.2.2. Konsep Pembebanan

Pada suatu proses perancangan bangunan lepas pantai, untuk menentukan kemampuan kerja suatu struktur akan dipengaruhi oleh beban yang terjadi pada bangunan tersebut. Sehingga perancang harus menentukan akurasi atau ketepatan beban yang akan diterapkan dalam perancangan. Menurut Soedjono (1999) beban-baban yang harus dipertimbangkan dalam perancangan bangunan lepas pantai adalah sebagai berikut:

- Beban mati (*Dead load*)

Adalah beban dari komponen-komponan kering serta beban-beban peralatan, perlengkapan dan permesinan yang tidak berubah dari mode operasi pada suatu struktur, meliputi : berat struktur, berat peralatan dari permesinan yang tidak digunakan untuk pengeboran atau proses pengeboran

- Beban hidup (*Live load*)

Beban hidup adalah beban yang terjadi pada bangunan lepas pantai selama beroperasi dan bisa berubah dari mode operasi satu ke mode operasi yang lain.

- Beban akibat kecelakaan (*Accidental load*)

Beban kecelakaan merupakan beban yang tidak dapat diduga sebelumnya yang terjadi pada suatu bangunan lepas pantai, misalnya

tabrakan dengan kapal pemandu operasi, putusnya tali tambat, kebakaran, letusan.

- **Beban lingkungan (*Environmetal Load*)**

Beban lingkungan adalah beban yang terjadi karena dipengaruhi oleh lingkungan dimana suatu bangunan lepas pantai dioperasikan atau bekerja. Beban lingkungan yang biasanya digunakan dalam perancangan adalah :

- *Wave drift force*
- Beban arus
- Beban angin

2.2.3. Komposisi Pembebanan Lingkungan

Beban lingkungan (*Environmental load*) adalah beban yang terjadi karena dipengaruhi oleh lingkungan dimana suatu bangunan lepas pantai dioperasikan atau bekerja. Beban lingkungan yang biasanya digunakan dalam perancangan adalah:

2.2.3.1. Beban angin

Beban angin merupakan beban dinamis, namun beberapa struktur akan meresponnya pada model statis yang paling mendekati. Dalam perancangan sebuah *offshore structure* pada umumnya, perhitungan beban angin pada kondisi terikat dihitung menggunakan persamaan berdasarkan *OCIMF mooring equipment guidelines* – 1997:

Longitudinal wind force

$$F_{xw} = C_{xw} \left(\frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_T \quad (2.2)$$

Lateral wind force

$$F_{yw} = C_{yw} \left(\frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_L \quad (2.3)$$

Dimana :

F_{xw} = Gaya angin longitudinal (kN)

F_{yw} = Gaya angin lateral (kN)

C_{xw} = Koefisien gaya angin longitudinal non dimensional

C_{yw} = Koefisien gaya angin transfersal non dimensional

ρ_w = Densiti udara = 1.223 Kg/m³ pada 20⁰ C

V_w = Kecepatan angin pada ketinggian 10m (knot)

A_T = Luas penampang transfersal diatas air (m²)

A_L = Luas penampang longitudinal diatas air (m²)

Persamaan 2.2 dan 2.3 adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung besarnya beban angin pada luasan struktur diatas permukaan air, data yang diperlukan dalam menghitung beban angin adalah besarnya luasan *freeboard transversal* dan *longitudinal* pada struktur, serta koefisien gaya angin yang didapatkan berdasarkan grafik penentuan koefisien gaya angin yang terdapat pada OCIMF *mooring equipment guidelines* – 1997

2.2.3.2. Beban arus

Beban arus merupakan salah satu beban lingkungan yang memberikan gaya terhadap *offshore structure*. Sedangkan arus yang disebabkan oleh angin memiliki karakter yang sama, tetapi dalam fungsi linier berdasarkan OCIMF *mooring equipment guidelines* – 1997 dituliskan :

Longitudinal current force

$$F_{xc} = C_{xc} \left(\frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 T L_{BP} \quad (2.4)$$

Lateral current force

$$F_{yc} = C_{yc} \left(\frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 T L_{BP} \quad (2.5)$$

Dimana:

F_{xc} = gaya arus longitudinal (kN)

F_{yc} = gaya arus lateral (kN)

C_{xc} = koefisien gaya arus longitudinal non dimensional

C_{yc} = koefisien gaya arus transfersal non dimensional

ρ_c = densiti air laut = 1025 Kg/m³ pada 20⁰ C

V_c = kecepatan arus pada ketinggian 10m (knot)

T = Draft kapal (m)

L_{BP} = *length between perpendicular* (m)

Persamaan 2.4 dan 2.5 adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung besarnya beban arus pada struktur, data yang diperlukan dalam menghitung beban arus adalah perbandingan kedalaman laut terhadap sarat kapal, jenis dari haluan kapal, koefisien gaya arus didapatkan berdasarkan grafik penentuan koefisien gaya angin yang terdapat pada OCIMF *mooring equipment guidelines* – 1997.

2.2.3.3. Teori Difraksi

Bilamana suatu struktur mempunyai ukuran yang relatif besar, yakni memiliki ukuran yang kurang lebih sama dengan panjang gelombang, maka keberadaan struktur ini akan mempengaruhi timbulnya perubahan arah pada medan gelombang disekitarnya. Dalam hal ini difraksi gelombang dari permukaan struktur harus diperhitungkan dalam evaluasi gaya gelombang. Sehingga pada penelitian ini, teori yang di pakai adalah teori difraksi, karena struktur bangunan apung yang ditinjau adalah sruktur bangunan apung yang memiliki permukaan relative besar sehingga difraksi gelombang pada permukaan struktur harus di perhitungkan, dimana persamaan *Navier-Stokes* merupakan persamaan yang sering digunakan pada permasalahan difraksi dan teori gelombang yang digunakan adalah gelombang linier (*Airy*), dimana gaya gelombang difraksi memiliki efek yang signifikan terhadap struktur terapung di perairan dalam. (P. Indiyono,2003)

Gaya dan momen eksitasi untuk gerakan *Sway*, *Heave* dan *Roll* yang di sebabkan oleh difraksi dapat di ekspresikan dalam matriks persamaan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} f_{(2)}^D(x) \\ f_{(3)}^D(x) \\ f_{(4)}^D(x) \end{bmatrix} = i\rho\rho \int_{s(x)} e^{k.z} \begin{bmatrix} \varphi_D^{(0)}(y, z, k, \mu) \\ \varphi_D^{(e)}(y, z, k, \mu) \\ \varphi_D^{(0)}(y, z, k, \mu) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -dZ \\ dy \\ y = dy + (z - z_0)dz \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

$\varphi_D^{(0)}$ = Kecepatan potensial difraksi pada *odd complex*

$\varphi_D^{(e)}$ = Kecepatan potensial difraksi pada fungsi *even complex*

Kecepatan potensial difraksi (φ_D) dapat di ekspresikan dalam persamaan menggunakan diferensiasi normal.

$$\frac{\partial}{\partial_n} \varphi_D^{(m)} = \left[\sum_{j=1}^N Q_j^{(m)} I_{ij}^{(m)} + \sum_{j=1}^N Q_{N+j}^{(m)} J_{ij}^{(m)} \right] + i \left[\sum_{j=1}^N Q_j^{(m)} J_{ij}^{(m)} + \sum_{j=1}^N Q_{N+j}^{(m)} I_{ij}^{(m)} \right] \quad (2.7)$$

Dimana :

Q_j = *Green Function* pada segmen j

I_{ij}, J_{ij} = *Koefisien Influence*

Untuk gaya gelombang *Time series* dapat di bangkitkan dari spektrum gelombang sebagai *First Order* dan *Second Order*. *First Order* adalah gelombang dengan periode kecil yang daerah pembangkitnya di daerah itu sendiri dan berpengaruh dominan pada gerakan bangunan apung. Berikut adalah persamaan gaya gelombang first order.

$$F_{WV}^{(1)}(t) = \sum_{i=1}^N F_{WV}^{(1)}(\omega_i) \cos[\omega_i t + \varepsilon_i] a_i \quad (2.8)$$

Dimana :

$F_{WV}^{(1)}(t)$ = Gaya gelombang *First Order* fungsi waktu.

$F_{WV}^{(1)}(\omega)$ = Gaya *Exciting* gelombang *First Order* per unit *Amplitude* gelombang.

ε_i = Sudut fase komponen gelombang *First Order*.

a_i = *Amplitude* komponen gelombang *First Order*.

Second Order adalah gelombang dengan periode tinggi yang daerah pembangkitnya tidak di daerah tersebut (jauh dari lokasi gelombang terjadi). Berikut adalah persamaan gaya gelombang *Second Order*.

$$F_{WV}^{(2)}(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_i a_j D_{ij} [(\omega_i + \omega_j)t + (\alpha_i + \alpha_j)] \quad (2.9)$$

Dimana :

D_{ij} = Drift force per unit amplitude gelombang.

2.2.3.4. Kondisi Pembebanan *Collinear* dan *Non-Collinear*

Kondisi pembebanan *collinear* dan *non-collinear* kondisi arah datang nya beban lingkungan yang mengenai struktur. Beban lingkungan kondisi *collinear* adalah keadaan dimana arah datang dari beban angin, beban gelombang, dan beban arus yang sama dan searah, sedangkan beban lingkungan kondisi *non-collinear* adalah keadaan dimana arah datang dari beban angin, beban gelombang, dan beban arus datang dari arah yang berbeda, analisa mengenai dampak dari kondisi arah datang beban lingkungan perlu dilakukan karena efek dari kondisi arah datang beban lingkungan yang berbeda - beda dapat mengakibatkan efek yang cukup signifikan untuk beberapa jenis sistem tambat pada struktur terapung (Lloyd Register, 2013). Dalam aturan yang dikeluarkan *Lloyd Register* pada bagian “*Floating Offshore Installation on Fixed Location*” telah menentukan beberapa kondisi arah pembebanan yang perlu di analisis dalam penganalisaan sistem tambat, untuk arah pembebanan kondisi *collinear*, perlu dilakukan simulasi dengan arah datang beban lingkungan dengan arah datang beban lingkungan yang membentuk sudut hingga 15°, sedangkan untuk kondisi *non-collinear*, kombinasi yang direkomendasikan adalah arah datang dari beban arus yang membentuk sudut sebesar 30° dari beban angin dan gelombang serta, beban angin yang membentuk sudut 30° dari beban gelombang dan, beban arus yang membentuk sudut sebesar 90° dari beban gelombang.

2.2.4. Response Amplitude Operators (RAO)

Response Amplitude Operator (RAO) atau disebut juga dengan *Transfer Function* merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang disebabkan akibat gelombang dengan rentang frekuensi tertentu. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur. Menurut Chakrabarti (1987), persamaan RAO dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_k(\omega)}{\zeta_w(\omega)} \quad (2.10)$$

Dimana :

ζ_k = Amplitudo struktur

ζ_w = Amplitudo gelombang

Spektrum respons didefinisikan sebagai respons kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Spektrum respons merupakan perkalian antara spektrum gelombang dengan RAO kuadrat, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$S_R = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \quad (2.11)$$

Dimana :

S_R = spektrum respons (m^2 -sec)

$S(\omega)$ = spektrum gelombang (m^2 -sec)

$RAO(\omega)$ = *Transfer function*

ω = frekuensi gelombang (rad/sec)

2.2.5. Perilaku Bangunan Apung pada Gelombang Acak

2.2.5.1. Respon Bangunan Apung pada Gelombang Acak

Gerakan bangunan apung dalam kondisi ideal dapat dihitung sebagai reaksi adanya eksitasi gelombang sinusoidal, dengan karakteristik tinggi atau amplitudo dan frekuensi tertentu. Perhitungan kemudian dilakukan dengan mengambil amplitudo gelombang yang konstan, namun harga frekuensinya divariasikan dengan interval kenaikan tertentu.

Gelombang acak merupakan superposisi dari komponen-komponen pembentuknya yang berupa gelombang sinusoidal dalam jumlah tidak terhingga. Tiap-tiap komponen gelombang mempunyai tingkat energi tertentu yang dikontribusikan, yang kemudian secara keseluruhan diakumulasikan dalam bentuk spektrum energi gelombang (Djarmiko, 2012).

Dalam analisis respon bangunan apung pada gelombang reguler dapat diketahui pengaruh interaksi hidrodinamik pada massa tambah, *potential damping* dan gaya eksternal. Respon struktur pada gelombang acak dapat dilakukan dengan mentransformasikan spektrum gelombang menjadi spektrum respon. Spektrum respon didefinisikan sebagai respon kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Gambar 2.3 mengilustrasikan perkalian harga pangkat kuadrat dari *Response Amplitude Operator (RAO)* dengan spektrum gelombang pada daerah struktur bangunan apung tersebut beroperasi. Persamaan respon struktur secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$S_R = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \quad (2.12)$$

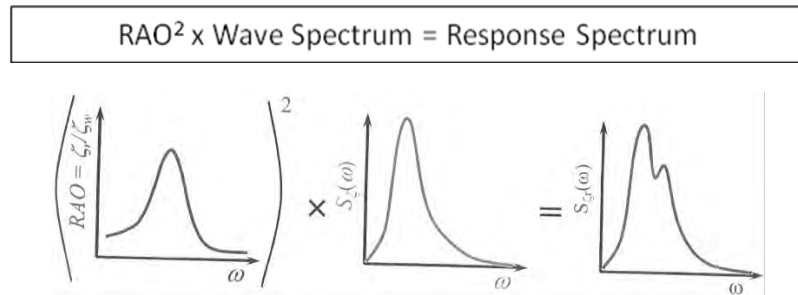
dengan :

S_R = Spektrum respons (m^2 -sec)

$S(\omega)$ = Spektrum gelombang (m^2 -sec)

$RAO(\omega)$ = *Transfer function*

ω = Frekuensi gelombang (rad/sec)



Gambar 2.3 Transformasi spektra gelombang menjadi spektra respons
(Djarmiko, 2012)

2.2.5.2. Spektrum Gelombang

Pemilihan spektrum energi gelombang untuk memperoleh respon spektra suatu struktur didasarkan pada kondisi real laut yang ditinjau. Bila tidak ada, maka dapat digunakan model spektrum yang dikeluarkan oleh berbagai institusi dengan mempertimbangkan kesamaan fisik lingkungan. Dari spektrum gelombang dapat diketahui parameter-parameter gelombang seperti nilai tinggi gelombang rata –

rata, signifikan, nilai rata – rata 1/10 gelombang tertinggi, nilai rata – rata 1/1000 gelombang tertinggi dengan menggunakan persamaan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Amplitudo dan tinggi gelombang pada spektrum

Profil Gelombang	Amplitudo	Tinggi
Gelombang rata-rata	$1.25\sqrt{m_0}$	$2.5\sqrt{m_0}$
Gelombang signifikan	$2.00\sqrt{m_0}$	$4.00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/10 gelombang tertinggi	$2.55\sqrt{m_0}$	$5.00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/1000 gelombang tertinggi	$3.44\sqrt{m_0}$	$6.67\sqrt{m_0}$

dengan:

$$m_0 = \text{Luasan dibawah kurva spektrum (zero moment)} = \int_0^{\omega} S_{(\omega)} d\omega$$

Analisis spektrum gelombang dapat menggunakan beberapa teori spektrum gelombang yang telah ada, antara lain model spektrum JONSWAP, *Pierson-Moskowitz*, Bretshneider, ISSC ataupun ITTC. Model matematik spektrum secara umum didasarkan pada satu atau lebih parameter, misalnya tinggi gelombang signifikan, periode gelombang, faktor permukaan, dan lain-lain.

Salah satu model spektra adalah yang diajukan oleh Pierson Morkowitz pada 1964 dan masih secara luas digunakan. Aplikasi umum dari satu parameter spektrum gelombang *Pierson-Moskowitz* dibatasi oleh fakta jika kondisi laut adalah *fully developed*. Pengembangan dari laut juga dibatasi oleh *fetch*. Setelah itu, mulai dikembangkan suatu spektrum untuk perairan dengan batasan *fetch* tertentu. Dimana spektrum tersebut merupakan turunan dari spectra *Pierson-Moskowitz*, yakni dikehui sebagai *Joint North Sea Wave Project* (JONSWAP).

Pada Tugas Akhir ini, dalam analisisnya akan digunakan spektrum gelombang JONSWAP. JONSWAP merupakan proyek yang dilakukan pada perairan *North Sea*. Menurut DNV RP-C205 (2010), formulasi spektrum JONSWAP merupakan modifikasi dari spektrum *Pierson-Moskowitz*. Spektrum JONSWAP mendeskripsikan angin yang membangkitkan gelombang dengan kondisi *sea state* yang ekstrim.

Kriteria yang ada di DNV RP-C205, bahwa spektrum JONSWAP dapat diaplikasikan untuk perairan dengan :

$$3.6 < T_p / (H_s)^{1/2} < 5 \quad (2.13)$$

Formulasi spektra JONSWAP banyak dipakai dalam perancangan dan analisis bangunan lepas pantai yang dioperasikan di Indonesia. Hal yang mendasari pemakaian spektra JONSWAP dikarenakan karena perairan Indonesia di mana kebanyakan bangunan lepas pantai untuk kegiatan migas dioperasikan adalah perairan kepulauan atau tertutup. (Djarmiko, 2012)..

Tabel 2.2 Spektrum gelombang untuk beberapa daerah (Chakrabarti, 1987)

Location	Operational	Survival
Gulf of Mexico	P-M	JONSWAP
North Sea	JONSWAP	JONSWAP
Northern North Sea	JONSWAP	JONSWAP
Offshore Brazil	P-M	P-M
Western Australia	P-M	P-M
Offshore Newfoundland	P-M	P-M
West Africa	P-M	P-M

Berikut adalah persamaan spektrum JONSWAP (DNV, 2010) :

$$S_J(\omega) = A_\gamma S_{PM}(\omega) \gamma^{\exp\left(-0.5\left(\frac{\omega-\omega_p}{\sigma\omega_p}\right)^2\right)} \quad (2.14)$$

dengan :

$$A_\gamma = \text{Normalizing factor} = 1 - 0.287 \ln(\gamma)$$

$$\gamma = \text{Peakness parameter}$$

$$\sigma = \text{Spectral width parameter}$$

$$= 0,07 \text{ jika } \omega \leq \omega_p$$

$$= 0,09 \text{ jika } \omega > \omega_p$$

$$\omega_p = \text{Angular spectral peak frequency (rad/s)} = 2\pi / T_p$$

$$\omega = \text{Wave frequency (rad/s)}$$

$$S_{PM}(\omega) = \text{Spektrum Pierson-Moskowitz, dengan persamaan :}$$

$$S_{PM}(\omega) = \frac{5}{16} \cdot H_s^2 \cdot \omega_p^2 \cdot \omega^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^4\right) \quad (2.15)$$

dengan :

H_s = tinggi gelombang signifikan (m)

T_p = periode puncak (s)

2.2.5.3. Persamaan Gerak Kapal Kondisi Tertambat

Kapal yang tertambat akan mengakibatkan gaya yang diterima oleh kapal tersebut akan terhambat oleh sistem *mooring* yang dimiliki nya. Pergerakan kapal dapat dibagi menjadi dua yaitu *wave frequency motion* dan *low frequency motion*.

a. Wave Frequency Motion

Persamaan *wave frequency motion* (Liu&Miao,1998)

$$(M_{ij} + \mu_{ij}) \ddot{x}_j^{(1)} + \int_0^\infty K_{ij}(\tau) \dot{x}_j^{(1)}(t - \tau) d\tau + C_{ij} \dot{x}_j^{(1)} = F_i^{moor} + F_i^{wave(1)} \quad (2.16)$$

$$i = 1, 2 \dots 6, j = 1, 2 \dots 6$$

dimana:

$x_i^{(1)}$ = wave frequency motion

$F^{wave(1)}$ = first order wave force

F^{moor} = mooring force

M = inertia matrix FPSO

b. Low Frequency Motion

Persamaan low frequency motion (Witchers,1988)

$$(m + \mu_{11}) \ddot{x}_1^{(2)} + \mu_{12} \ddot{x}_2^{(2)} + \mu_{16} \ddot{x}_6^{(2)} + (B_{11} + B_{wdd}) \dot{x}_1^{(2)} = F_1^{wind} + F_1^{current} + F_1^{wave(2)} + F_1^{moor}$$

$$\mu_{21} \ddot{x}_1^{(2)} + (m + \mu_{22}) \ddot{x}_2^{(2)} + \mu_{26} \ddot{x}_6^{(2)} + B_{22} \dot{x}_2^{(2)} = F_2^{wind} + F_2^{current} + F_2^{wave(2)} + F_2^{moor}$$

$$\mu_{61} \ddot{x}_1^{(2)} + \mu_{62} \ddot{x}_2^{(2)} + (I + \mu_{66}) \ddot{x}_6^{(2)} + B_{66} \dot{x}_6^{(2)} = F_6^{wind} + F_6^{current} + F_6^{wave(2)} + F_6^{moor}$$

dimana:

$x^{(2)}$ = low frequency motion

B_{11}, B_{22}, B_{33} = koefisien damping

B_{wdd} = koefisien wave drift damping arah sumbu-x

$F_i^{current}$ = current force

F_i^{wind} = wind force

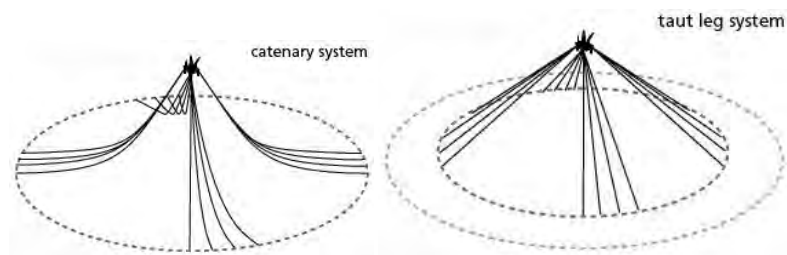
$$F_i^{\text{moor}} = \text{mooring force}$$

$$F_i^{\text{wave}(2)} = \text{second order wave drift force}$$

2.2.6. Spread Mooring

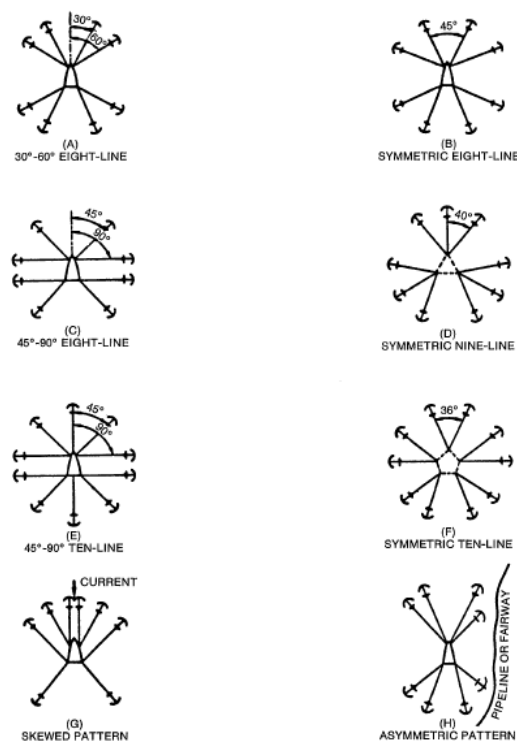
Sistem tambat (*mooring system*) pada kapal bertujuan untuk dapat menahan kapal dilaut ketika sedang operasi baik itu melakukan *drilling* ataupun *loading*. Sistem ini digunakan pada kapal yang terhubung satu atau lebih tali yang terhubung di buritan (*stern*) ataupun haluan (*bow*) dari kapal.

Ketika eksplorasi dan produksi minyak dan gas dilakukan di perairan dangkal yang mengarah ke perairan dalam maka konfigurasi *mooring lines* yang paling umum digunakan adalah *catenary mooring*. Sedangkan untuk eksplorasi dan produksi di perairan dalam yang mengarah pada *ultra deep water*, berat *mooring lines* menjadi faktor pembatas dalam desain struktur tersebut. Untuk mengatasi masalah ini solusi baru dikembangkan dalam sistem *mooring lines* yang terbuat dari tali sintetik yang memiliki berat ringan. Dalam sistem *spread mooring* ada dua jenis pengaturan *mooring lines* yaitu *catenary mooring* dan *taut mooring*, perbedaan utama antara *catenary mooring* dan *taut mooring* adalah posisi *anchorleg*. Untuk *catenary mooring* ketika berada di dasar laut posisi *mooring* horisontal. Sedangkan untuk *taut mooring* ketika berada di dasar laut posisi *mooring* bersudut. Ini berarti bahwa dalam *taut mooring* jangkar harus mampu menahan beban baik horisontal maupun vertikal, sedangkan pada *catenary mooring* jangkar hanya dikenakan beban horisontal. Dalam *catenary mooring* gaya pengembali dihasilkan oleh berat *mooring lines* sendiri. Dalam *taut mooring*, gaya pengembali dihasilkan oleh elastisitas *mooring lines*. Keuntungan dari *taut mooring* jika dibandingkan dengan *catenary mooring* adalah radius tambatan akan lebih kecil dibanding *catenary mooring* (Aage, 1997) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Catenary & Taut mooring system
(<http://www.dredgingengineering.com/moorings/overview>)

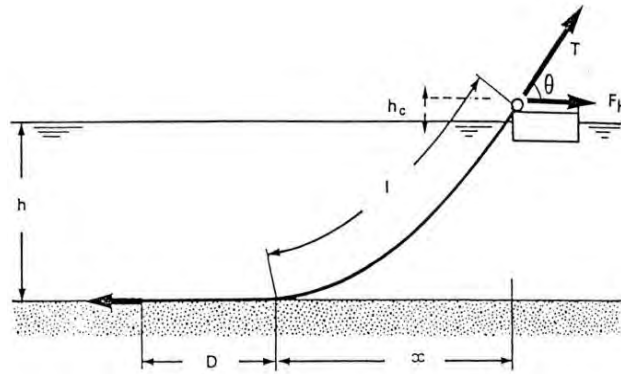
Penjelasan diatas merupakan penjelasan tentang sistem *mooring* yang digunakan. Namun untuk variasi mengenai jumlah *mooring lines* beserta sudut sebar yang digunakan bergantung pada karakteristik operasional dari serta keadaan lingkungan dimana kapal tersebut beroperasi. Konfigurasi sudut sebar tali tambat pada *Spread mooring* secara umum telah dijelaskan dalam API RP 2P (1987) seperti pada Gambar 2.5 . Konfigurasi – konfigurasi tersebut memiliki jarak *fairlead* dan sudut sebar tali yang berbeda, penempatan *fairlead* serta pengaturan sudut sebar *mooring lines* dapat memberikan efek yang berbeda terhadap *tension* yang terjadi pada tali tambat serta perilaku gerak dari kapal itu sendiri.



Gambar 2.5: Konfigurasi posisi *mooring lines* (API RP 2P, 1987)

2.2.7. Penentuan Panjang *Mooring Line*

Penentuan panjang *mooring line* berfungsi supaya struktur pada penambatannya memiliki posisi yang tepat. Dan juga supaya *mooring line* itu sendiri memiliki panjang dan *pretension* yang sesuai. Gambar 2.6 menunjukkan variabel-variabel yang diperlukan dalam penentuan panjang minimal dari tali tambat.



Gambar 2.6 Panjang minimum *mooring lines* (Faltinsen, 1990)

Berikut adalah penentuan panjang minimum dari *mooring line* (*basic equation*). (Faltinsen, 1999)

$$\frac{l}{h} = \sqrt{\frac{2 F_H}{w h} + 1} \quad (2.16)$$

atau

$$\frac{l}{h} = \sqrt{\frac{2 T}{w h} - 1} \quad (2.17)$$

dengan :

l = Panjang minimum tali tambat

h = Jarak vertical dari *fairlead* ke *seabed* = $h_m + h_c$

h_m = Kedalaman air

h_c = Tinggi *fairlead* di atas permukaan air

w = Berat tali tambat di dalam air per satuan panjang

F_H = Horizontal *pre-tension* = 10% MBL

T = *Tension* maksimum dari tali tambat (*pre-tension*)

D = *Length resting on the seabed* (panjang tali tambat yang menempel pada *seabed*)

Harga D dapat diasumsikan berdasarkan tipe dari tali tambat, yaitu:

- 200 s/d 300 m untuk tali tambat yang memiliki konfigurasi *wire rope anchor lines*.

- b. 50 s/d 100 m untuk tali tambat yang memiliki konfigurasi *chain anchor lines*.

2.2.8. *Tension* pada Tali Tambat

Gerakan pada kapal karena pengaruh beban lingkungan menyebabkan adanya tarikan pada *mooring line*. Tarikan (*tension*) yang terjadi pada *mooring line* dapat dibedakan menjadi 2, yaitu :

a. *Mean Tension*

Tension pada *mooring line* yang berkaitan dengan *mean offset* pada vessel.

b. *Maximum Tension*

Mean tension yang mendapat pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan *low-frequency tension*.

Menurut Faltinsen (1990), perhitungan *tension* maksimum tali tambat dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$T_{max} = T_H + wh \quad (2.18)$$

dengan :

T_{max} = *Tension* maksimum tali tambat (ton)

T_H = Horizontal *pre-tension* (ton)

w = Berat *chain* di air (ton/m)

h = Kedalaman perairan (m)

Menurut API RP 2SK, maimun *tension* dapat ditentukan dengan prosedur yang dijelaskan dalam pers.

1. $T_{lfmax} > T_{wfmax}$, maka:

$$T_{max} = T_{mean} + T_{lfmax} + T_{wfsig}$$

2. $T_{wfmax} > T_{lfmax}$, maka:

$$T_{max} = T_{mean} + T_{wfmax} + T_{lfsig}$$

Dengan:

T_{mean} = *Mean tension*

T_{max} = *Maximum tension*

T_{wfmax} = *Maximum wave frequency tension*

T_{wfsig} = Significant wave frequency tension

T_{lfmax} = Maximun low-frequency tension

T_{lfsig} = Significant low-frequency tension

2.2.9. Offset Pada Struktur

Offset atau *Excursion* adalah perpindahan posisi dari platform dengan jarak sejauh x meter setelah terkena gelombang dan merupakan salah satu bentuk respon dari platform pada saat mendapat beban lingkungan. *Offset* dapat dibedakan menjadi beberapa kelompok, yaitu:

1. *Mean Offset*

Displacement dari vessel karena kombinasi dari pengaruh beban arus, gelombang, dan *wave drift* rata-rata dan angin.

2. *Maximun Offset*

Mean offset yang mendapat pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan low-frequency motion

Offset maksimum ditentukan dengan prosedur yang dijelaskan dalam persamaan berikut ini (API RP 2SK):

1. $Slfmax > Swfmax$, maka:

$$S_{max} = S_{mean} + Slfmax + S_{wfsig}$$

2. $Swfmax > Slfmax$, maka:

$$S_{max} = S_{mean} + Swfmax + Slfsig$$

Dengan:

S_{mean} = mean vessel offset

S_{max} = maximum vessel offset

S_{wfmax} = maximum wave frequency motion

S_{wfsig} = significant wave frequency motion

S_{lfmax} = maximun low-frequency motion

S_{lfsig} = significant low-frequency motion

Alternatif lain yang dapat digunakan dengan menggunakan *time domain*, *frequency domain*, kombinasi keduanya atau *model testing*, *Mean offset* yang diijinkan adalah 2% hingga 4% kedalaman perairan sedangkan untuk maximum offset dipengaruhi oeh banyak faktor seperti kedalaman perairan, lingkungan dan

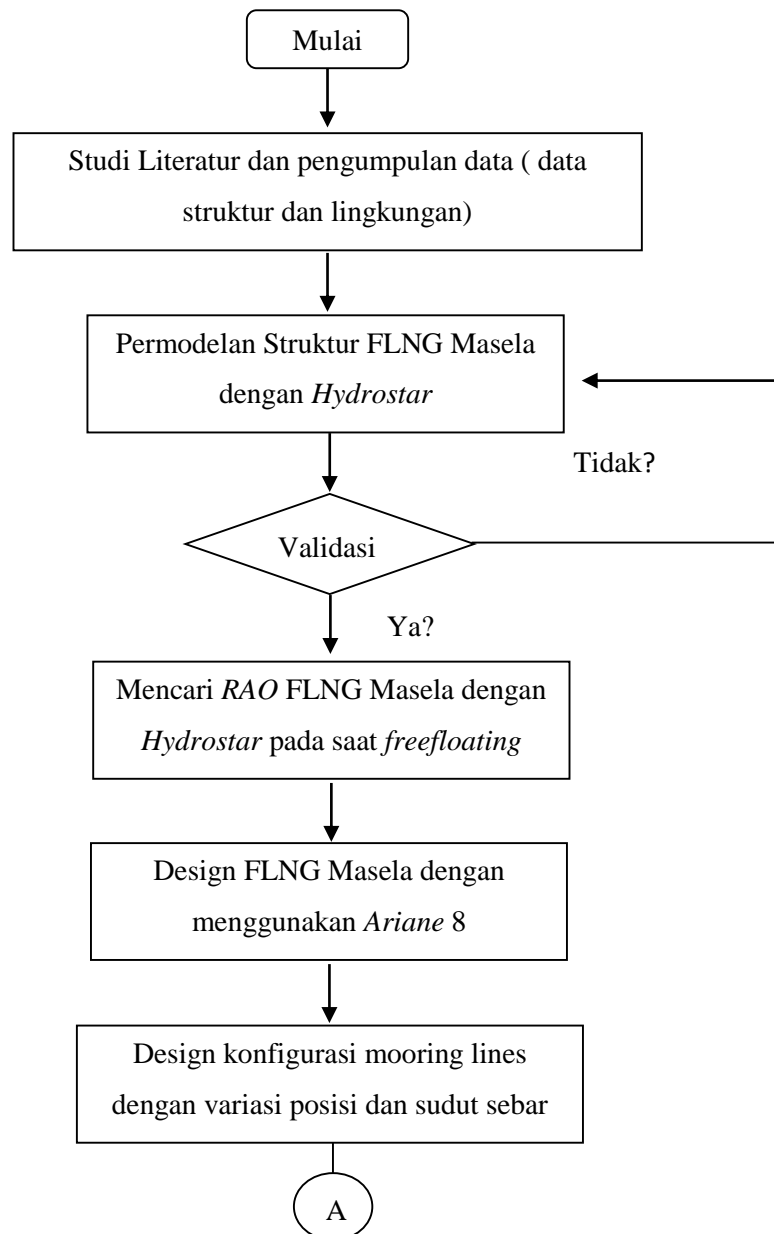
sistem riser. Tetapi pada umumnya pada range 8% sampai 12%, dari kedalaman perairan (API RP 2P)

BAB III

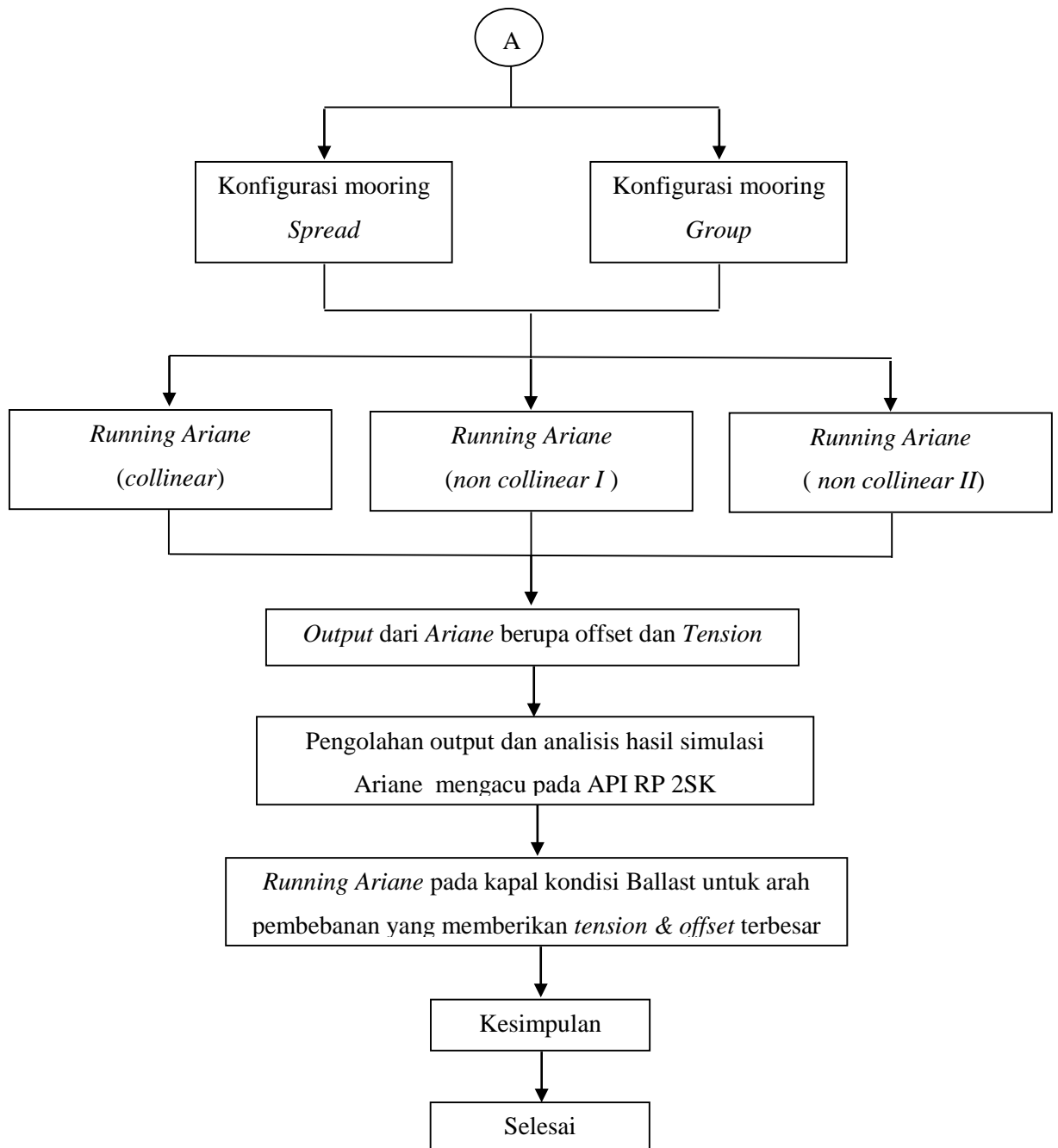
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir

Untuk mempermudah evaluasi perkembangan penelitian untuk tugas akhir akan dibuat diagram pengerjaan/metodologi. Secara garis besar pengerjaan tugas akhir ini dapat dijelaskan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan penelitian tugas akhir



Gambar 3.2 Diagram alir pengerjaan penelitian tugas akhir (lanjutan)

Pengerjaan tugas akhir ini dimulai dengan proses pengumpulan data struktur data lingkungan yang meliputi data gelombang yang berupa data gelombang acak. Kemudian dilakukan pemodelan struktur dengan menggunakan *software Hydrostar* dengan memasukkan data geometri dari *hull FLNG*.

Analisis kemudian dilanjutkan dengan *Hydrostar* yang menghasilkan *RAO* koefisien *added mass*, koefisien *Damping* dan *Wave drift force* dari struktur. Kemudian dilakukan analisa dinamis untuk arah *Surge*, *Sway*, *Heave*, *Roll*, *Pitch*

dan *Yaw*. Dengan analisis dinamis ini akan didapatkan frekuensi natural dan perilaku gerakan FLNG untuk gelombang reguler dan gelombang acak.

Selanjutnya dilakukan pemodelan struktur dengan menggunakan *software Ariane*. *RAO* dan *Wave drift force* yang dihasilkan dari *software Hydrostar* digunakan sebagai *input* beban untuk menganalisa *tension* yang terjadi pada *mooring lines* dan *offset* pada *FLNG*

Langkah sebelum nya diulangi sebanyak dua kali dikarenakan tugas akhir ini berkaitan dengan variasi konfigurasi *Spread mooring* dengan konfigurasi *Spread* dan *Group*

Setelah kapal selesai dimodelkan dalam *software Ariane*, tahapan selanjutnya adalah melakukan analisis *time domain simulation* pada kedua konfigurasi, analisis dilakukan pada setiap kondisi pembebanan lingkungan yakni ; *collinear*, *non-collinear I*, *non-collinear II*, hasil dari *analisis time domain* adalah rekaman pergerakan kapal serta *tension* yang terjadi pada kapal selama tiga jam.

Kemudian data hasil dari analisis *time domain simulation* pada *software Ariane* diolah untuk mendapatkan nilai *tension* dan *offset* signifikan untuk setiap kondisi pembebanan.

Setelah mengetahui kondisi dan arah pembebanan yang mengakibatkan nilai *tension* dan *offset* terbesar pada kapal, kemudian analisis *time domain simulation* diulang kembali pada arah pembebanan tersebut untuk mengetahui *tension* dan *offset* pada kapal pada kondisi *ballast*.

Langkah berikutnya adalah melakukan analisis dan membuat kesimpulan berdasarkan hasil analisis *time domain simulation* yang dilakukan pada konfigurasi *Spread* maupun *Group* serta memberikan saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya.

3.2. Pengumpulan Data Penelitian

3.2.1. Pengumpulan Data Struktur

Data struktural yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang berkaitan dengan *FLNG*, dan sistem tambat. *FLNG* yang dipakai pada penelitian ini adalah *FLNG* Masela yang mempunyai *principle dimension* seperti pada Tabel 3.1 . Untuk sistem tambat yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah *Spread mooring* dengan konfigurasi *Symmetrical 30°* dan *Grouping* dengan pengaturan seperti pada gambar 3.3, data tali tambat yang digunakan ditampilkan pada Tabel 3.2 dan 3.3

Tabel 3.1 *General dimension FLNG Masela*

Parameter	Unit	Loading Condition	
		Ballast	Full Load
Length	[m]	420	
Breadth	[m]	70	
Depth	[m]	36	
Draft	[m]	14.1	15.5
Trim	[degrees]	0	0
Heel	[degrees]	0	0
Displacement	[ton]	424915	383780
LCG	[m]	209.62	209.5
KG	[m]	23.18	25.49



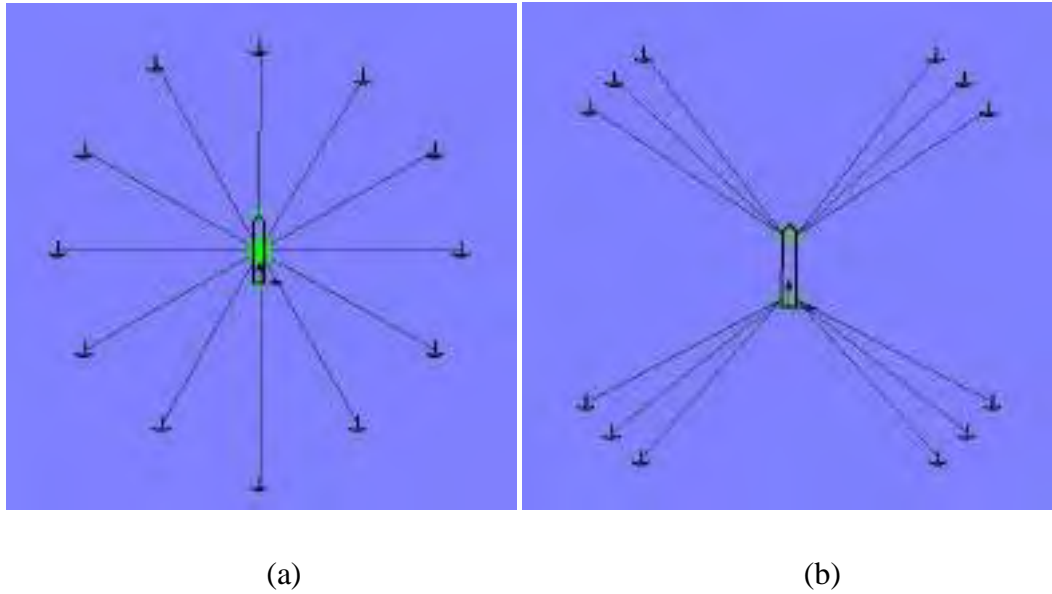
Gambar 3.3 *General Arrangement FLNG Masela*

Tabel 3.2 *Data Mooring Lines FLNG Masela*

Line ID	Anchoring Radius	Bottom Chain	Wire Rope	Top Chain
	[m]	[m]	[m]	[m]
L1	1290	500	905	60
L2	1290	500	905	60
L3	1290	500	905	60
L4	1290	500	905	60
L5	1290	500	905	60
L6	1290	500	905	60
L7	1290	500	905	60
L8	1290	500	905	60
L9	1290	500	905	60
L10	1290	500	905	60
L11	1290	500	905	60
L12	1290	500	905	60

Tabel 3.3 *Mooring lines properties*

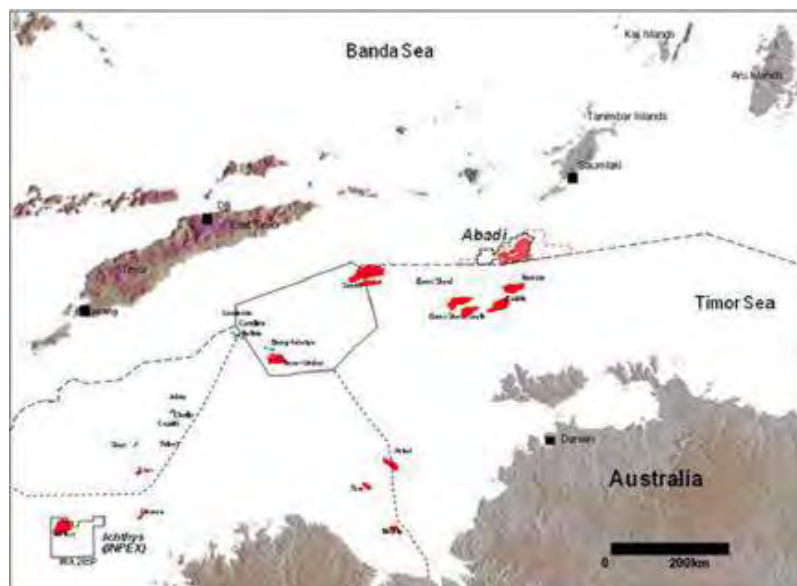
	Bottom & Top Chain	Wire Rope	
Diameter	122	98	[mm]
Type	Studless	SRP2plus	[-]
Grade	R3	-	[-]
Weight in air	298	54	[kg/m]
Weight in water	259	43	[kg/m]
EA	1262	954	[MN]
MBL	11365	9457	[kN]



Gambar 3.4 Konfigurasi tali tambat: (a) *Symmetrical 30°* dan (b) *Grouping*

3.2.2. Pengumpulan Data Lingkungan (*Metocean Data*)

Lapangan gas Abadi berada pada blok Masela yang terletak di Laut Arafura, Provinsi Maluku. Blok Masela terletak sejauh 800 km dari timur Kupang, Nusa Tenggara, Indonesia Kedalaman laut pada daerah ini bervariasi dari 400 – 800m (Wikipedia,2010). Data *Metocean* yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah data metocean periode ulang 200 tahunan



Gambar 3.5 Peta lokasi lapangan gas Abadi (INPEX)

Tabel 3.4 Data *Metoccean* periode ulang 200 tahunan

Parameter	Unit	Wind Peak	Wave Peak	Current Peak
Vw	[m/s]	24.37	24.37	23.48
Hs	[m]	7.07	7.28	6.48
Tp	[s]	10.6	10.74	10.17
γ	[-]	1.35	1.36	1.32
Vc	[m/s]	1.29	1.08	1.39

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

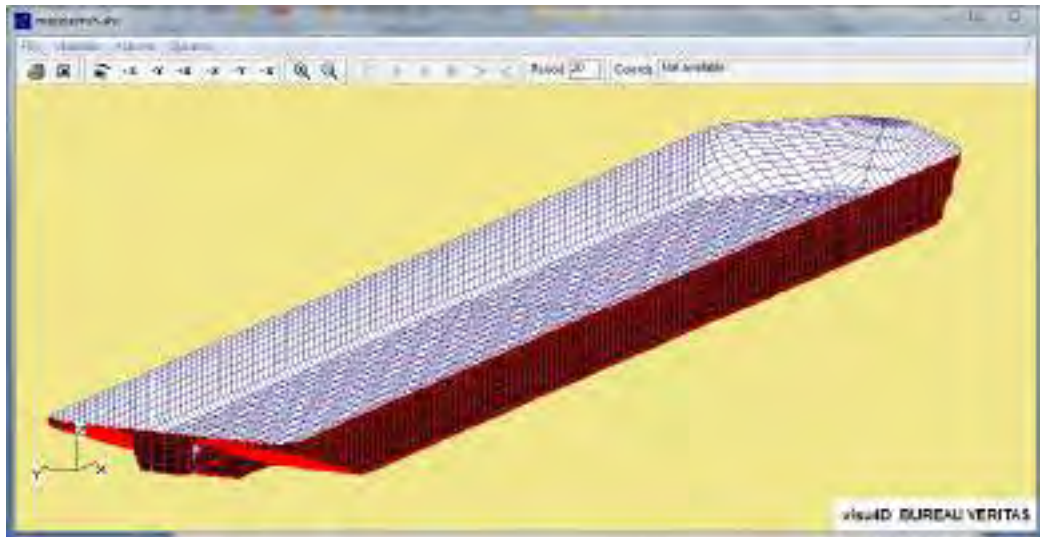
4.1. Permodelan Struktur pada *software Hydrostar*

Dalam pengerjaan tugas akhir ini pemodelan struktur dilakukan dengan menggunakan dua *software*, yaitu :

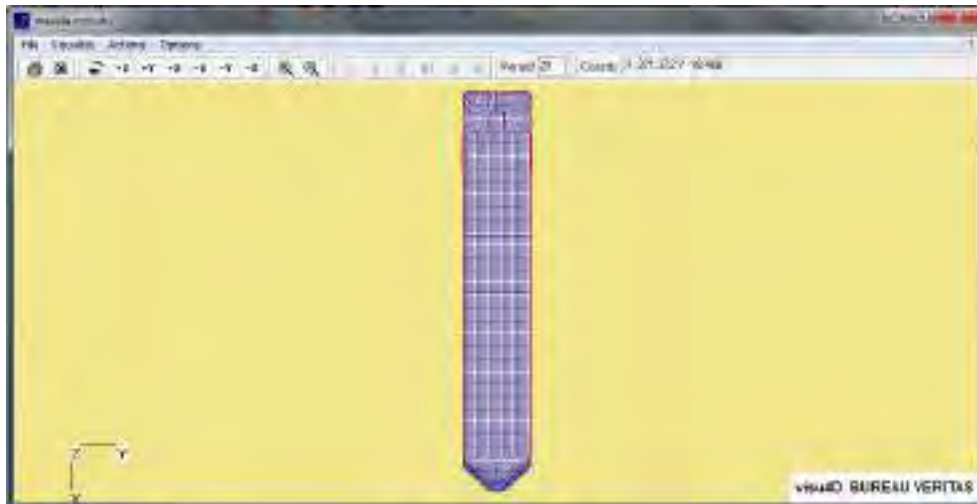
1. Pemodelan dengan menggunakan *software Hydrostar 7.25* untuk mendapatkan *RAO motion* dan *Wave drift force*
2. Pemodelan dengan menggunakan *software Ariane 8.0* untuk mendapatkan *offset* dan *tension* yang terdapat pada *FLNG* Masela dan tali tambat

4.1.1. Pemodelan Menggunakan Software Hydrostar 7.25

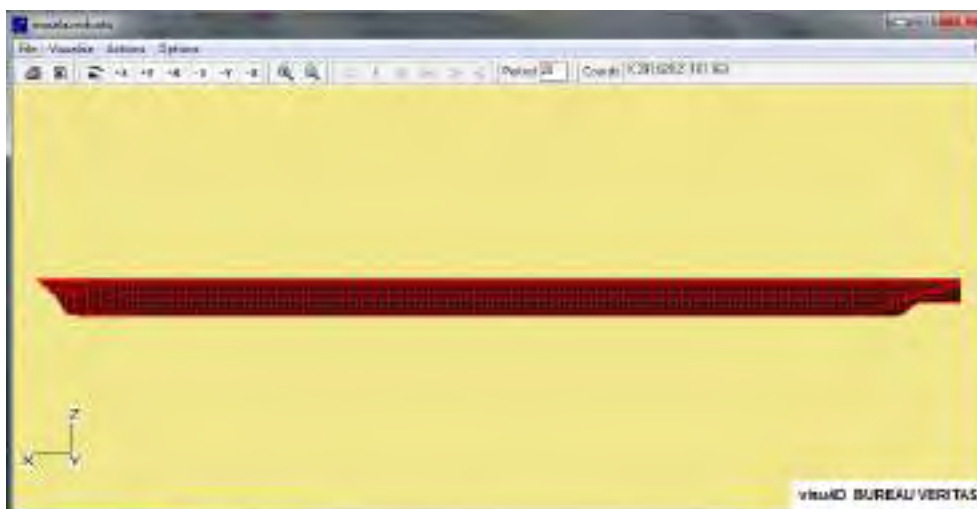
Dengan menggunakan *software Hydrostar 7.25*, struktur *FLNG* dimodelkan tanpa *mooring*. Pemodelan hanya berupa *hull FLNG* saja. Pemodelan ini diawali dengan mengukur *offset* setiap *section* sesuai geometri *hull FLNG*. Hasil dari pemodelan ini dapat dilihat pada Gambar 4.1 – 4.5.



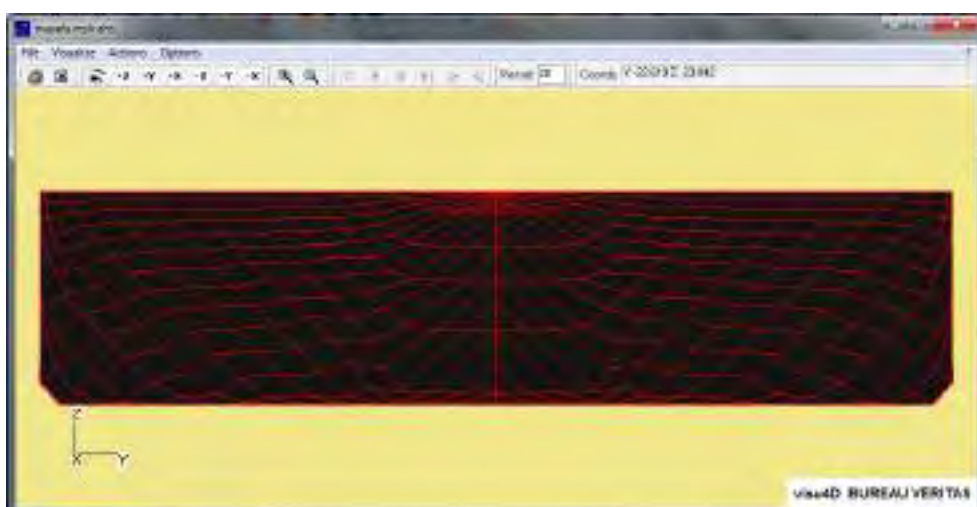
Gambar 4.1 *Isometric view model FLNG Masela*



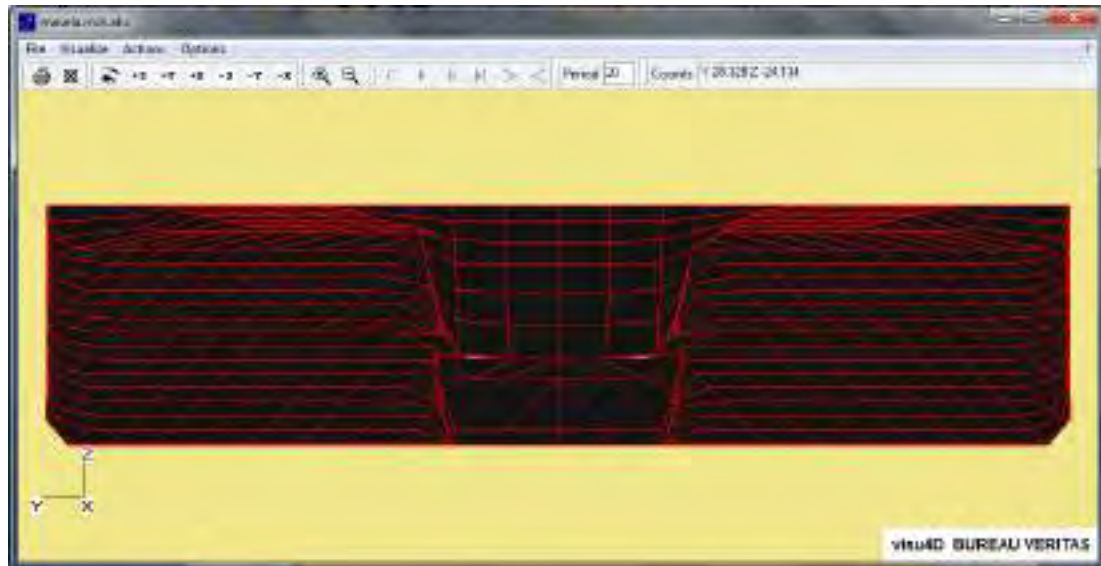
Gambar 4.2 Top View *model FLNG Masela*



Gambar 4.3 Side view *model FLNG Masela*



Gambar 4.4 Front view *model FLNG Masela*



Gambar 4.5 Back view model FLNG Masela

4.2. Verifikasi Model

Verifikasi model dilakukan dengan membandingkan properti hidrostatik yang didapatkan dari data kapal yang dibandingkan dengan properti hidrostatik yang dihitung dengan *software Hydrostar 7.25*, kriteria yang digunakan dalam proses validasi pada penelitian mengacu pada *rules* yang dikeluarkan oleh ABS (*American Bureau of Shipping*) pada bagian MODU (*Mobile Offshore Drilling Unit*). Pada Tabel 4.1 adalah properti hidrostatik yang dimiliki oleh *FLNG Masela*, serta kriteria verifikasi yang ditetapkan oleh ABS pada Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Properti hidrostatik *FLNG Masela*

LCF Draft (m)	Displ (MT)	LCB (m)	VC B (m)	LCF (m)	TPcm (MT/cm)	MTcm (MT-m/deg)	KML (m)	KMT (m)
2	49493.2	211.13	1.00	210.40	251.99	4542193	5,257.72	203.13
2.5	62116.7	210.97	1.26	210.27	252.97	4594789	4,237.75	163.06
3	74803.0	210.81	1.51	209.78	254.48	4675761	3,581.05	136.84
3.5	87552.2	210.65	1.76	209.65	255.46	4729768	3,094.93	117.92
4	100365.0	210.49	2.02	209.15	256.97	4813004	2,747.34	104.07
4.5	113239.7	210.32	2.27	209.02	257.95	4868331	2,462.97	93.13
5	126179.0	210.16	2.52	208.53	259.47	4953989	2,249.29	84.64
5.5	139179.3	210.00	2.78	208.39	260.45	5010884	2,062.61	77.56
6	152245.2	209.83	3.03	205.33	265.41	5330173	2,005.74	71.92
6.5	165542.9	209.46	3.29	205.23	266.37	5387031	1,864.30	66.93
7	178905.9	209.12	3.55	204.76	267.86	5474777	1,753.15	62.84
7.5	192327.0	208.81	3.81	204.30	269.34	5563505	1,657.24	59.34

8	205814.6	208.51	4.06	204.18	270.31	5623290	1,565.28	56.18
8.5	219360.0	208.24	4.32	203.72	271.79	5714507	1,492.45	53.55
9	232970.9	207.97	4.58	203.60	272.76	5775759	1,420.31	51.14
9.5	246640.9	207.72	4.84	203.13	274.24	5869470	1,363.36	49.11
10	260375.0	207.43	5.10	203.01	275.20	5932133	1,305.23	47.21
10.5	274169.3	207.28	5.36	202.54	276.69	6028421	1,259.68	45.62
11.	288026.9	207.00	5.62	202.42	277.66	6092703	1,211.86	44.10
11.5	301945.7	206.78	5.88	201.95	279.14	6191450	1,174.74	42.83
12.	315926.5	206.51	6.14	201.83	280.11	6257348	1,134.70	41.60
12.5	329969.6	206.38	6.40	201.35	281.59	6358605	1,103.99	40.57
13.	344074.1	206.10	6.66	201.23	282.56	6426117	1,069.97	39.56
13.5	358241.6	205.94	6.92	200.74	284.04	6529978	1,044.27	38.73
*14	372469.4	205.75	7.18	200.62	285.01	6599113	1,015.01	37.90
14.5	386761.3	205.55	7.44	200.13	286.49	6705323	993.24	37.21
15	401104.7	205.35	7.70	200.20	287.18	6757346	965.15	36.50
**15. 5	415474.2	205.18	7.96	200.47	287.59	6789676	936.23	35.81

*: Ballast condition

**: Full Load condition

Tabel 4.2 ABS MODU(2012) *Computation model acceptable tolerances*

Acceptable Tolerance	
Hull Form Dependent	Acceptable Tolerance
Displacement	2%
Longitudinal center of bouyancy (LCB)	1% / 50 cm max
Vertical center of bouyancy (VCB)	1% / 50 cm max
Transverse center of bouyancy (TCB)	0.5% of B / 5 cm max
Longitudinal center of floatation (LCF)	1% / 50 cm max
Transverse metacentric height (KMt)	1% / 50 cm max
Longitudinal metacentric height (KML)	1% / 50 cm max
Compartment Dependent	
Volume or deadweight	2%
Longitudinal center of gravity (LCG)	1% / 50 cm max
Vertical center of gravity (VCG)	1% / 5 cm max
Transverse center of gravity (TCG)	0.5% of B / 5 cm max
Free surface moment (FSM)	2%
Level of contents	2%

Tabel 4.3 Tabel verifikasi *FLNG* Masela

	DATA	MODEL		DATA	MODEL		DATA	MODEL		DATA	MODEL	
LCF Draft (m)	Displ (MT)	Displ (MT)	Difference (%)	LCB (m)	LCB (m)	Difference (%)	VCB (m)	VCB (m)	Difference (%)	LCF (m)	LCF (m)	Difference (%)
2	49493,25	49184,83	-0,62	211,134	211,37	-0,11	1,01	1,01	-0,20	210,401	210,48	-0,04
2,5	62116,74	61776,57	-0,55	210,974	211,14	-0,08	1,26	1,26	0,08	210,27	210,04	0,11
3	74803,05	74428,12	-0,50	210,813	210,92	-0,05	1,51	1,52	-0,46	209,781	209,61	0,08
3,5	87552,23	87139,45	-0,47	210,652	210,7	-0,02	1,77	1,77	-0,23	209,65	209,18	0,22
4	100365	99910,57	-0,45	210,49	210,47	0,01	2,02	2,02	0,00	209,158	208,74	0,20
4,5	113239,7	112741,4	-0,44	210,329	210,25	0,04	2,27	2,28	-0,31	209,025	208,31	0,34
5	126179	125632,2	-0,43	210,165	210,03	0,06	2,53	2,53	-0,12	208,53	207,87	0,32
5,5	139179,3	138583	-0,43	210,003	209,81	0,09	2,78	2,78	0,07	208,398	207,43	0,46
6	152245,2	151594	-0,43	209,837	209,58	0,12	3,04	3,04	-0,13	205,338	206,99	-0,80
6,5	165542,9	164827,8	-0,43	209,468	209,16	0,15	3,30	3,3	-0,15	205,231	204,17	0,52
7	178905,9	178118,4	-0,44	209,127	208,78	0,17	3,55	3,55	0,08	204,766	203,8	0,47
7,5	192327	191465,8	-0,45	208,815	208,42	0,19	3,81	3,81	0,03	204,303	203,42	0,43
8	205814,6	204869,9	-0,46	208,519	208,08	0,21	4,07	4,07	-0,02	204,188	203,05	0,56
8,5	219360	218331	-0,47	208,243	207,76	0,23	4,33	4,33	-0,07	203,721	202,68	0,51
9	232970,9	231849,3	-0,48	207,978	207,45	0,25	4,59	4,58	0,11	203,606	202,32	0,63
9,5	246640,9	245426,4	-0,49	207,726	207,16	0,27	4,84	4,84	0,08	203,135	201,98	0,57
10	260375	259062,1	-0,50	207,483	206,87	0,30	5,10	5,1	0,06	203,018	201,63	0,68
10,5	274169,3	272757,2	-0,52	207,248	206,6	0,31	5,36	5,36	0,04	202,545	201,29	0,62
11	288026,9	286511,2	-0,53	207,02	206,34	0,33	5,62	5,62	0,02	202,428	200,94	0,74
11,5	301945,7	300324,2	-0,54	206,798	206,08	0,35	5,88	5,88	0,02	201,95	200,59	0,67
12	315926,5	314196,6	-0,55	206,581	205,83	0,36	6,14	6,14	0,00	201,833	200,24	0,79
12,5	329969,6	328128,1	-0,56	206,368	205,59	0,38	6,40	6,4	0,00	201,351	199,89	0,73
13	344074,1	342118,6	-0,57	206,16	205,35	0,39	6,66	6,66	0,02	201,233	199,53	0,85
13,5	358241,6	356168,2	-0,58	205,954	205,11	0,41	6,92	6,92	0,01	200,748	199,17	0,79
14	372469,4	370276,6	-0,59	205,752	204,88	0,42	7,18	7,18	0,03	200,629	198,82	0,90
14,5	386761,3	384442	-0,60	205,552	204,65	0,44	7,44	7,44	0,04	200,139	198,51	0,81
15	401104,7	398651,8	-0,61	205,359	204,43	0,45	7,71	7,7	0,06	200,209	198,57	0,82
15,5	415474,2	412882,8	-0,62	205,186	204,23	0,47	7,97	7,96	0,08	200,474	198,77	0,85

Berdasarkan nilai perbedaan antara properti hidrostatik dari data terhadap properti hidrostatik berdasarkan model, dapat dilihat bahwa untuk nilai displacement untuk setiap sarat air pada model memiliki perbedaan dibawah 1% terhadap displacement dari data serta, nilai properti hidrostatik untuk, LCB, VCB, dan LCF dari model juga menunjukkan nilai kurang dari 1% terhadap properti hidrostatik dari data, berdasarkan kriteria yang diberikan oleh ABS yang ditunjukkan pada Tabel 4.2, dapat disimpulkan bahwa hasil permodelan sudah mendekati model sesungguhnya serta dinyatakan valid.

4.3. Perhitungan Properti Hidrodinamik pada Hydrostar 7.25

Setelah melakukan permodelan struktur dari *FLNG*, hal yang dilakukan berikutnya adalah menghitung nilai-nilai dari *hydrodynamics properties* yang dimiliki oleh *FLNG*, tahapan ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *Added mass*, *Damping coefficient*, *RAO*, dan juga *First order wave load* yang bekerja pada *FLNG* pada setiap arah datang pembebanan. Perintah yang pakai untuk menghitung properti hidrostatik maupun hidrodinamik pada *Hydrostar* diantaranya:

- *Hstat* : Perintah untuk menghitung properti hidrostatik pada body
- *Hsmcn* : Perintah untuk menghitung properti mekanik dari body
- *Hsrdf* : Perintah untuk melakukan perhitungan *Radiation-diffraction computation*
- *Hsdft* : Perintah untuk menghitung *wave drift force* pada body
- *Hsrao* : Perintah untuk menghitung RAO dari body

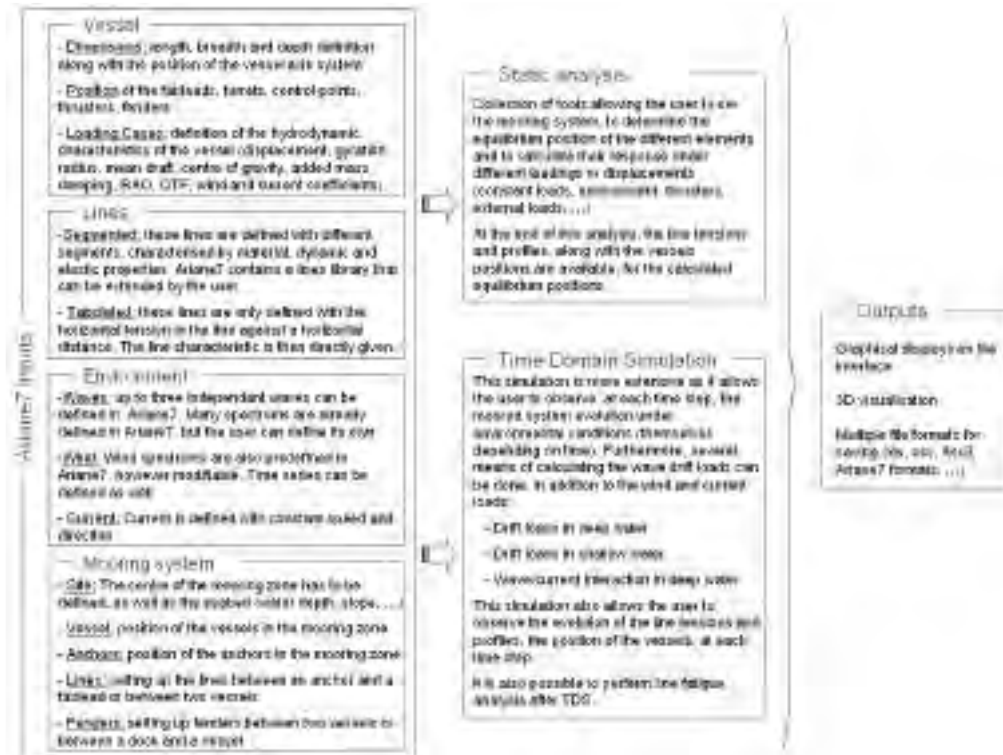
4.4. Permodelan pada Ariane 8

Ariane adalah *software* yang dikeluarkan oleh *Bureau Veritas* yang digunakan untuk melakukan analisis untuk sebuah *mooring sistem* berbasis *time domain*, *Ariane* berkemampuan untuk melakukan simulasi secara detail untuk kasus seperti:

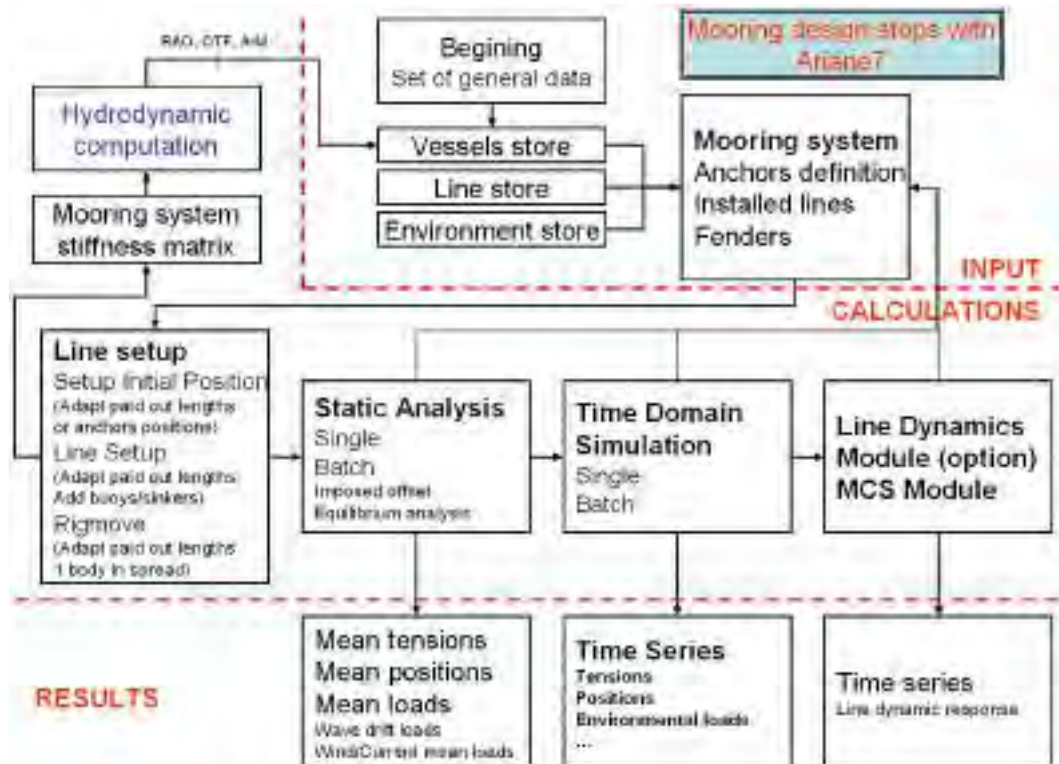
- *Multi-body simulation* : menghitung *coupling effect* dari dua body kapal yang berdekatan
- *Shallow water* : menghitung dampak dari kedalaman perairan terhadap perilaku gerak kapal

Ariane dapat memodelkan kapal beserta *mooring equipment* seperti *mooring lines*, *anchor*, *thruster*, serta *fender* untuk kasus kapal *side by side*. Permodelan dalam *software Ariane* dimulai dengan memodelkan kapal beserta penempatan *fairlead* atau *turret* pada kapal yang nantinya akan menjadi *attachment point* untuk setiap *mooring lines* yang akan digunakan. Selanjutnya adalah menentukan posisi dari setiap jangkar yang dipakai dalam *mooring system*, setelah model kapal dan *mooring system* dimodelkan, tahapan berikutnya adalah memasukkan keadaan lingkungan dimana kapal di operasikan, variabel – variabel seperti tinggi signifikan gelombang, kecepatan angin, kecepatan arus, spektra gelombang yang digunakan serta parameternya.

Analisis yang dapat dilakukan *software Ariane* meliputi analisis statis dari konfigurasi *mooring system*, analisis *time domain simulation*, serta *fatigue analysis*. Hasil yang dikeluarkan *software Ariane* berisi tentang besar *tension* dan rekaman *offset* kapal untuk setiap detiknya, serta animasi pergerakan kapal dalam simulasi *time domain*. Gambar 4.6 dan 4.7 memberikan gambaran umum terhadap proses pengerjaan dengan menggunakan *software Ariane*.



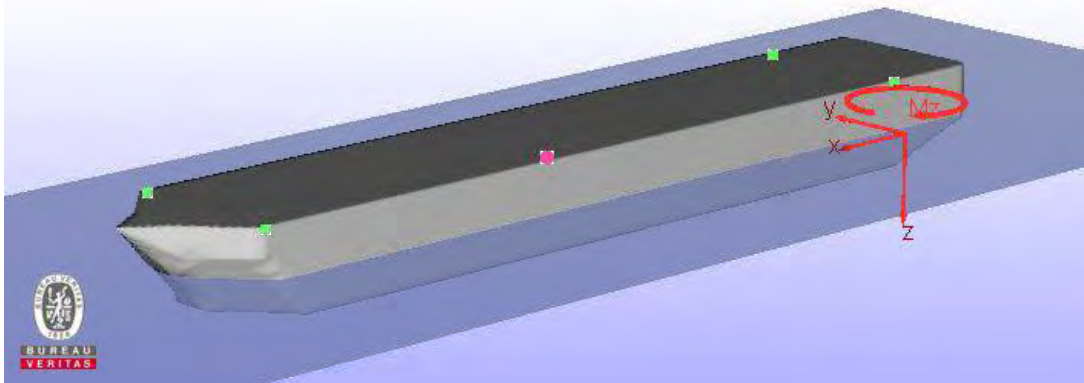
Gambar 4.6 Gambaran umum input software Ariane (Ariane User Manual)



Gambar 4.7 Skema pengerjaan Ariane (Ariane User Manual)

4.4.1. Permodelan Struktur pada *software Ariane*

Permodelan struktur pada *software Ariane* dapat dilakukan dengan *mengimport* hasil permodelan yang telah dilakukan pada *software Hydrostar*, hal perlu di input adalah hasil *meshing* dari struktur yang telah dimodelkan pada *software Hydrostar*, hasil dari *meshing* dari *Hydrostar* ditunjukkan pada Gambar 4.8



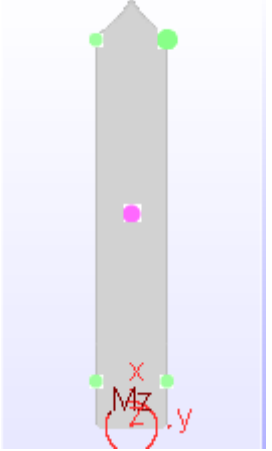
Gambar 4.8 Hasil *Meshing* pada *Ariane*

Setelah bentuk geometri dari *FLNG* telah dimasukkan kedalam *software Ariane*, langkah berikutnya adalah menentukan posisi dari *fairlead* yang akan diletakkan pada struktur *FLNG* dengan cara memasukkan koordinat posisi *fairlead* terhadap titik acuan awal *FLNG*. Tabel 4.4 dan 4.5 menunjukkan posisi dari *fairlead* untuk konfigurasi *Spread* dan *Group*

Tabel 4.4 Letak *fairlead* pada konfigurasi *spread*

SPREAD	Name	Position (m)		
		X	Y	Z
	Fairlead(1)	410.00	0.00	35.00
	Fairlead(2)	359.89	34.00	35.00
	Fairlead(3)	281.89	34.00	35.00
	Fairlead(4)	203.89	34.00	35.00
	Fairlead(5)	125.89	34.00	35.00
	Fairlead(6)	47.89	34.00	35.00
	Fairlead(7)	0.00	0.00	35.00
	Fairlead(8)	47.89	-34.00	35.00
	Fairlead(9)	125.89	-34.00	35.00
	Fairlead(10)	203.89	-34.00	35.00
	Fairlead(11)	281.89	-34.00	35.00
	Fairlead(12)	359.89	-34.00	35.00

Tabel 4.5 Letak *fairlead* pada konfigurasi *group*

GROUP	Name	Position (m)		
		X	Y	Z
	Fairlead(1A)	370.00	-34.00	35.00
	Fairlead(2A)	370.00	34.00	35.00
	Fairlead(3A)	45.00	34.00	35.00
	Fairlead(4A)	45.00	-34.00	35.00
	Fairlead(1B)	370.00	-34.00	35.00
	Fairlead(1C)	370.00	-34.00	35.00
	Fairlead(2B)	370.00	34.00	35.00
	Fairlead(2C)	370.00	34.00	35.00
	Fairlead(3B)	45.00	34.00	35.00
	Fairlead(3C)	45.00	34.00	35.00
	Fairlead(4B)	45.00	-34.00	35.00
	Fairlead(4C)	45.00	-34.00	35.00

Setelah menentukan posisi *fairlead* langkah selanjutnya adalah memasukkan properti hidrostatik dan hidrodinamik dari FLNG pada kondisi *full load*, properti-properiti hidrostatik maupun hidrodinamik yang digunakan dalam permodelan *Ariane* didapatkan dari output yang dikeluarkan oleh *software Hydrostar*, properti hidrostatik dan hidrodinamik ini dibutuhkan pada saat melakukan analisis statis maupun analisa *time domain* nantinya, properti – properti tersebut sudah di *compile* menjadi satu *file* dimana isi file tersebut adalah nilai dari *Added Mass*, *Damping*, *Stiffness*, *First order Loads*, *RAO*, *Second Order Load (Wave drift)* *Wind coefficient*, *Current Coefficient* dan lain lain, berikut ini adalah properti – properti yang dibutuhkan untuk melakukan analisa *time domain*.



Gambar 4.9 *Hydrodynamics Load Components*

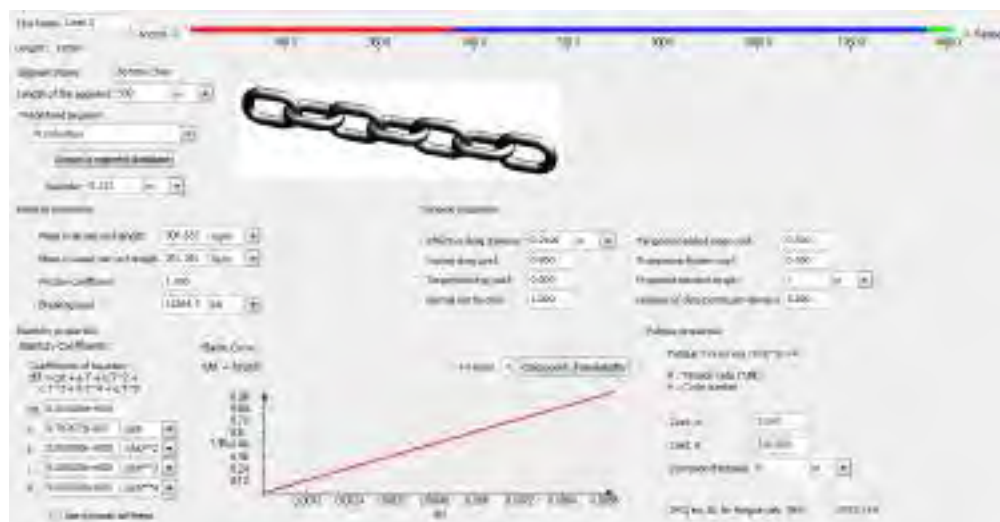
Setelah selesai memodelkan *FLNG* beserta properti hidrostatik maupun hidrodinamikanya, langkah berikutnya adalah memodelkan tali tambat beserta posisi dari jangkar pada setiap konfigurasi.

Tali yang digunakan pada kedua konfigurasi terdiri dari 12 tali tambat dimana setiap tali tersebut memiliki tiga segmen, yang terdiri dari *Top Chain*, *Wire Rope*, dan *Bottom Chain*, pada Tabel 4.6 adalah data properti dari setiap segmen tali tambat:

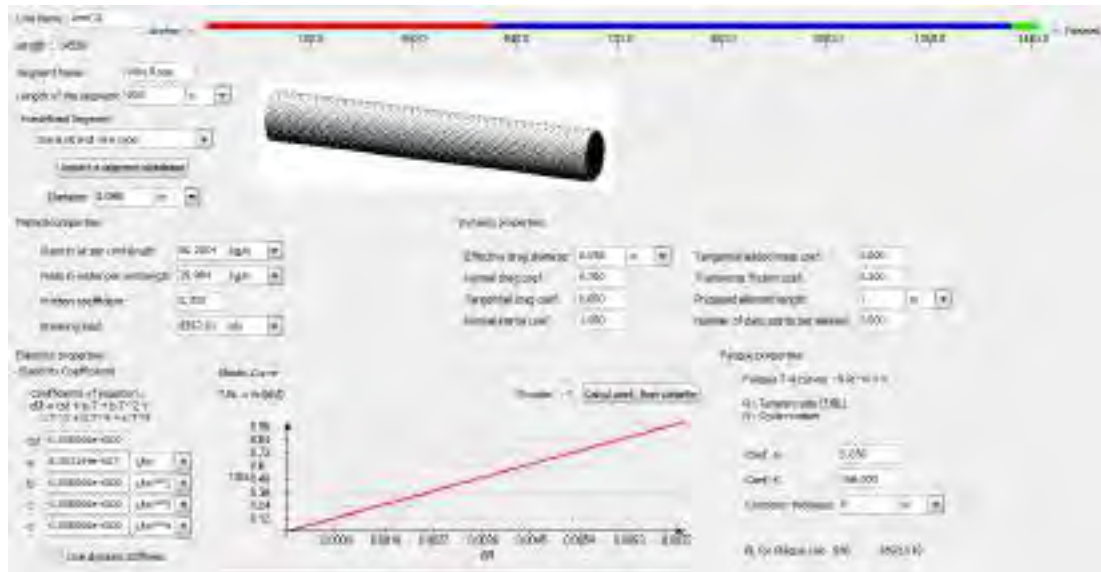
Tabel 4.6 Data mooring lines

	Bottom & Top Chain	Wire Rope	
Diameter	122	98	[mm]
Type	Studless	SRP2plus	[-]
Grade	R3	-	[-]
Weight in air	298	54	[kg/m]
Weight in water	259	43	[kg/m]
EA	1262	954	[MN]
MBL	11365	9457	[kN]

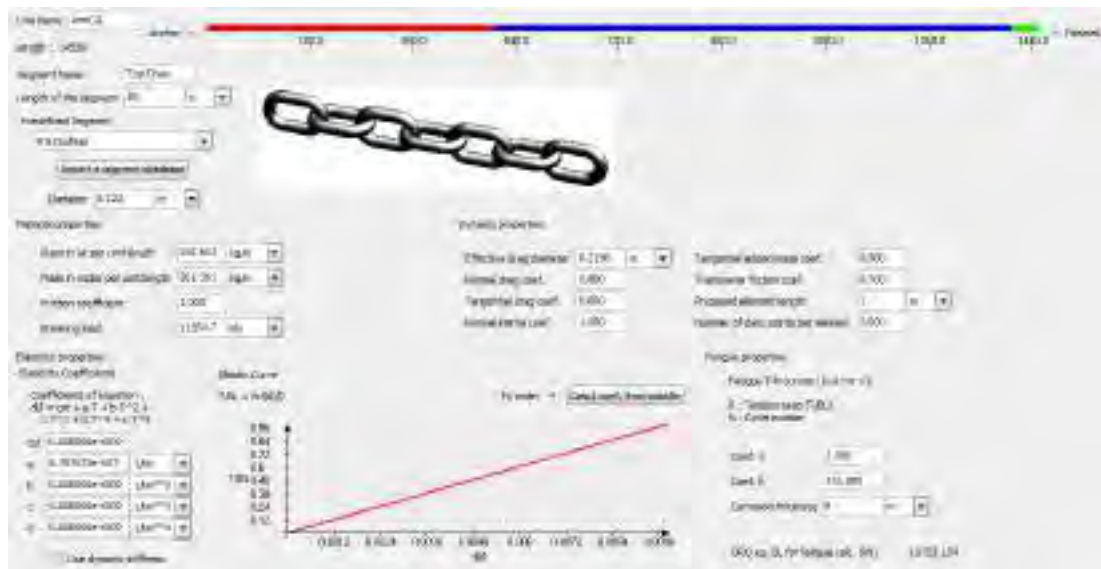
Data tersebut kemudian dimasukkan pada menu *Line Store* yang ada di *Software Ariane*



Gambar 4.10 Model *Bottom Chain*



Gambar 4.11 Model Wire Rope



Gambar 4.IV.12 Model Top Chain

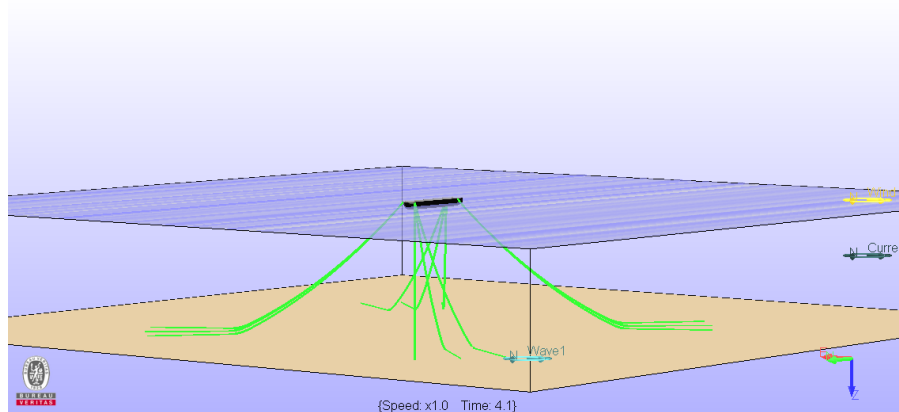
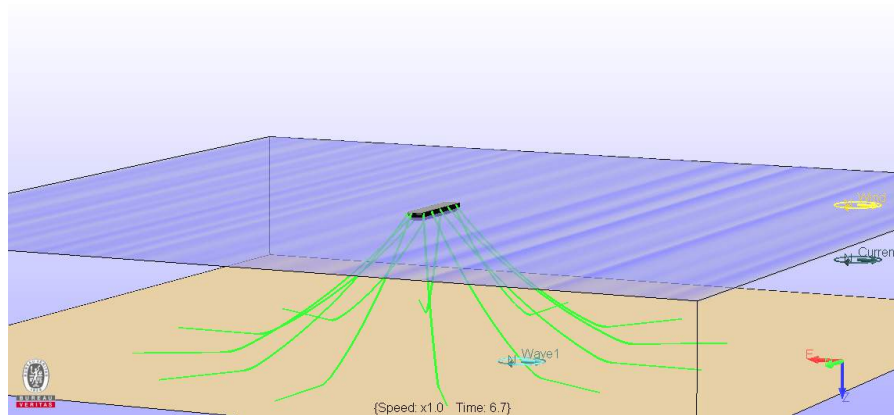
Langkah selanjutnya adalah menentukan posisi dari jangkar, peletakan posisi jangkar dilakukan dengan memasukkan posisi dari setiap jangkar terhadap titik acuan *FLNG* pada sumbu *x* dan *y*, untuk posisi vertikal dari jangkar akan diletakkan sesuai dengan kedalaman *seabed*. Penentuan posisi jangkar ditentukan dengan mengukur *working radius* dari sistem *mooring*, yang kemudian menjadi jarak jangkar terhadap posisi dari setiap fairlead. Ringkasan dari peletakan jangkar pada konfigurasi *Group* dan *Spread* ditampilkan pada Tabel 4.7 – 4.8 serta Gambar 4.13 – 4.14.

Tabel 4.7 Koordinat Jangkar Group

Name	Position [m]		
	East	North	Z
Anchor (1)	-1138,34	1034,46	600
Anchor (2)	-1008,73	1213,19	600
Anchor (3)	-851,47	1366,39	600
Anchor (4)	851,01	1366,77	600
Anchor (5)	1008,75	1213,17	600
Anchor (6)	1138,34	1034,45	600
Anchor (7)	1147,69	-603,66	600
Anchor (8)	1019,44	-785,64	600
Anchor (9)	861,43	-943,13	600
Anchor (10)	-861,77	-942,85	600
Anchor (11)	-1019,43	-785,66	600
Anchor (12)	-1147,67	-603,69	600

Tabel 4.8 Koordinat Jangkar Spread

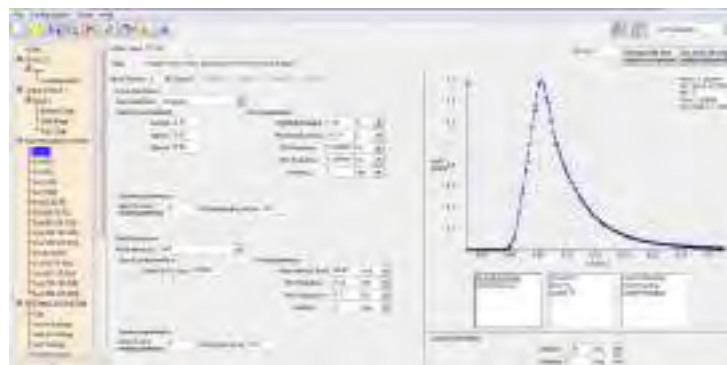
Name	Position [m]		
	East	North	Z
Anchor (1)	0	1698,82	600
Anchor (2)	698,58	1464,16	600
Anchor (3)	1156,02	916,03	600
Anchor (4)	1322,82	203,89	600
Anchor (5)	1156,02	-508,25	600
Anchor (6)	698,58	-1056,38	600
Anchor (7)	0	-1288,82	600
Anchor (8)	-694,41	-1058,87	600
Anchor (9)	-1154,47	-510,98	600
Anchor (10)	-1322,82	203,89	600
Anchor (11)	-1154,74	918,29	600
Anchor (12)	-694,41	1466,65	600

**Gambar 4.13** Posisi Jangkar konfigurasi *Group***Gambar 4.14** Posisi Jangkar konfigurasi *Spread*

Tahapan selanjutnya ialah memodelkan skenario beban lingkungan yang akan bekerja pada *FLNG*, *FLNG* akan dikenai beban ekstrim 200 th dengan asumsi akan diperoleh *tension* maksimum pada *mooring lines*. Pembebanan dilakukan dengan memasukkan data pada Tabel 4.7 pada software *Ariane* seperti pada Gambar 4.15 untuk arah gelombang 0°, 45°, 90°, 135°, 180° dengan kondisi arah datang beban lingkungan *collinear*, serta pembebanan beban lingkungan *non-collinear* dengan perbedaan arah datang sebesar 30°. Skenario pembebanan dalam tugas akhir ini terbagi menjadi tiga pengelompokan yaitu *collinear*, *non-collinear I*, dan *non-collinear II*, Tabel 4.9 menampilkan skenario pembebanan yang digunakan pada tugas akhir ini.

Tabel 4.9 Skenario pembebanan

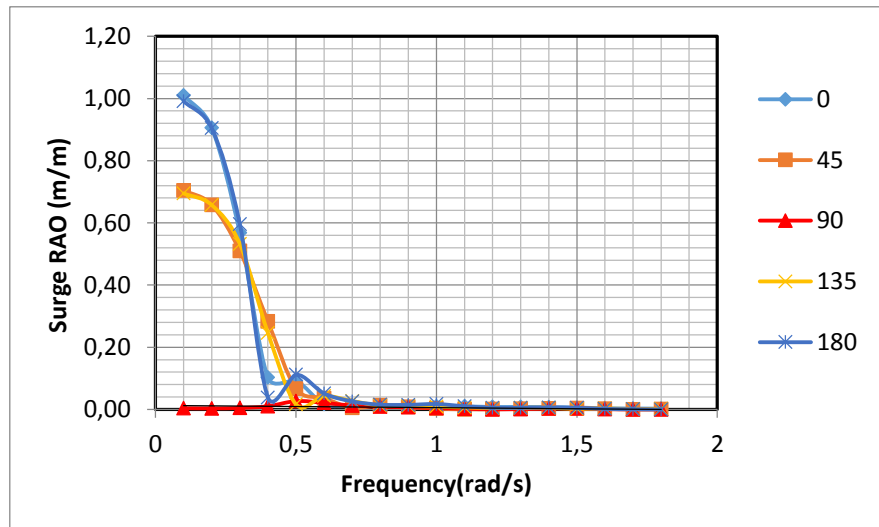
	Current [Degree]	Wave [Degree]	Wind [Degree]
Collinear	0	0	0
	45	45	45
	90	90	90
	135	135	135
	180	180	180
Non - Collinear	0	30	30
	45	75	75
	90	120	120
	135	155	155
	180	210	210
	0	30	60
	45	75	105
	90	120	150
	135	165	195
	180	210	240



Gambar 4.15 Pengaturan beban lingkungan pada *Ariane*

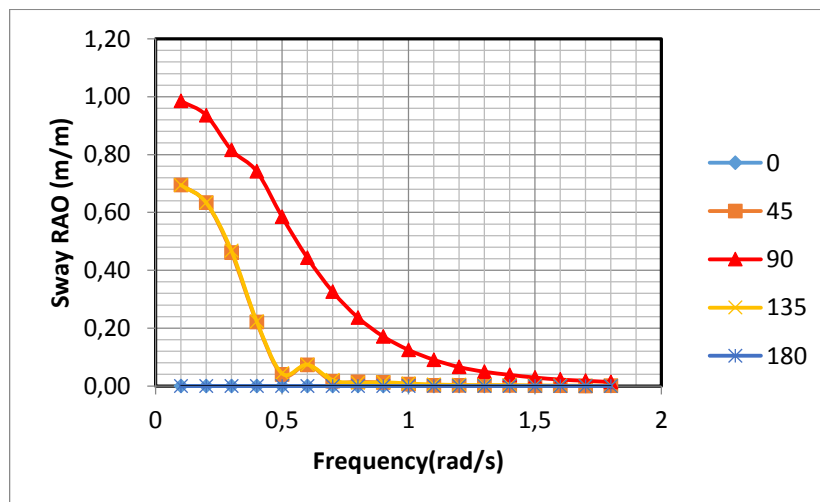
4.5. Analisa Perilaku Gerak *FLNG* Masela Kondisi *Free Floating*

Grafik *RAO* yang ditunjukkan pada Gambar 4.16 sampai 4.21 ditampilkan dalam enam mode gerak yaitu *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch*, *yaw* yang menunjukkan karakteristik gerak *FLNG* Masela pada kondisi *free floating*



Gambar 4.16 *Surge RAO FLNG* Masela kondisi *free floating*

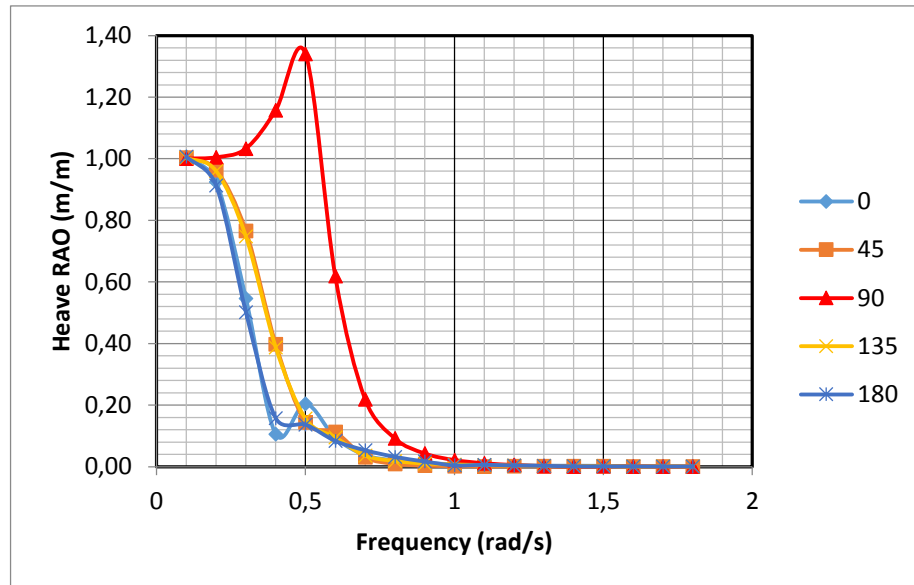
RAO Surge yang terbesar terjadi pada sudut 0° dan 180° yaitu sebesar 0.99 m/m dengan frekuensi 0.1 rad/sec, di ikuti sudut 45° dan 135° amplitudo *Surge* terbesar yang terjadi adalah sebesar 0.70 m/m pada frekuensi 0.1 rad/sec. Sedangkan untuk nilai *RAO Surge* di sudut 90° bernilai sangat kecil bahkan relatif tak ada sama sekali



Gambar 4.17 *Sway RAO FLNG* Masela kondisi *free floating*

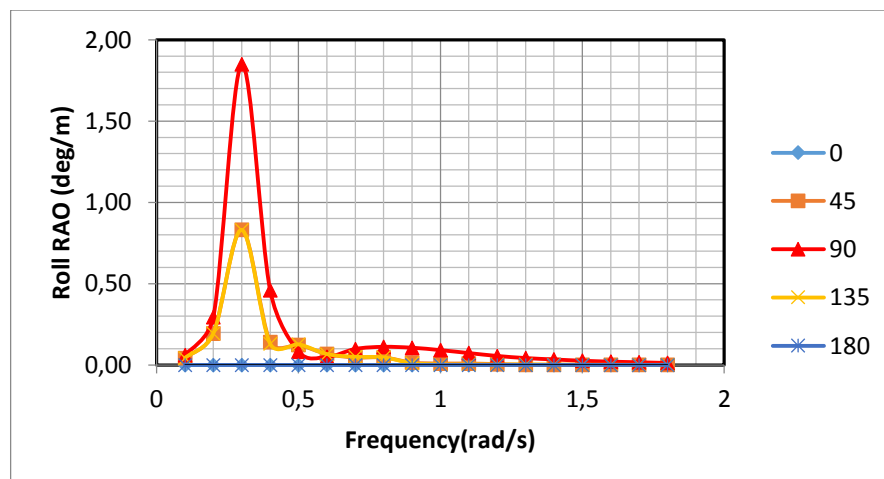
RAO Sway yang terbesar terjadi pada sudut 90° yaitu sebesar 0.99 m/m dengan frekuensi 0.1 rad/sec, di ikuti sudut 45° dan 135° *RAO Sway* terbesar yang terjadi

adalah sebesar 0.70 m/m pada frekuensi 0.1 rad/sec. Sedangkan untuk nilai *RAO Sway* di sudut 0° dan 180° bernilai sangat kecil bahkan relatif tak ada sama sekali.



Gambar 4.18 Heave RAO FLNG Masela kondisi *free floating*

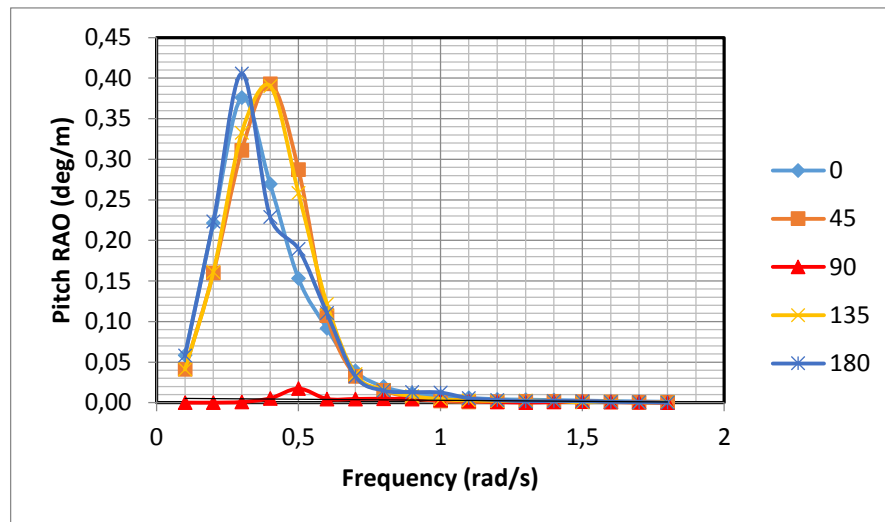
RAO Heave yang terbesar terjadi pada sudut 90° yaitu sebesar 1.34 m/m dengan frekuensi 0.5 rad/sec, di ikuti sudut 45° dan 135° *RAO Heave* terbesar yang terjadi adalah sebesar 1 m/m pada frekuensi 1 rad/sec. Sedangkan untuk nilai *RAO Heave* di sudut 0° dan 180° bernilai 1 m/m pada frekuensi 1 rad/sec.



Gambar 4.19 Roll RAO FLNG Masela kondisi *free floating*

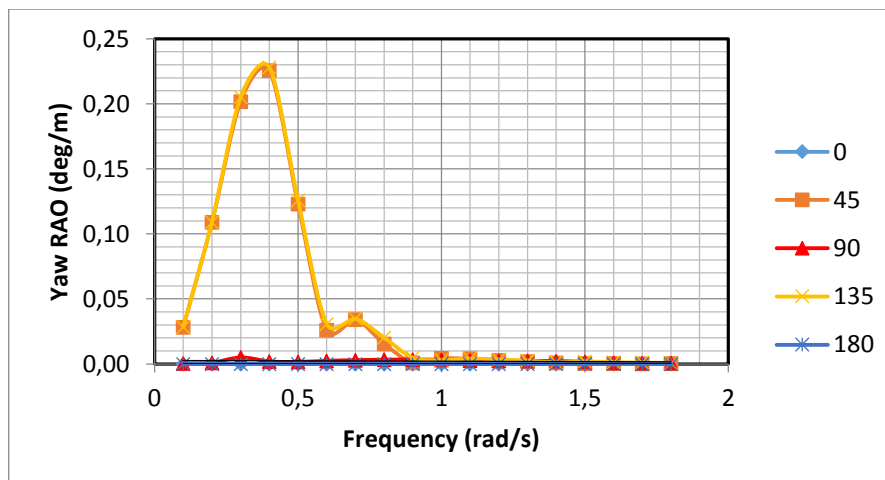
RAO Roll yang terbesar terjadi pada sudut 90° yaitu sebesar 1.85 deg/m dengan frekuensi 0.3 rad/sec, di ikuti sudut 45° dan 135° *RAO Roll* terbesar yang terjadi

adalah sebesar 0.83 deg/m pada frekuensi 0.3 rad/sec. Sedangkan untuk nilai *RAO Roll* di sudut 0° dan 180° bernilai sangat kecil bahkan relatif tak ada sama sekali.



Gambar 4.20 Pitch RAO FLNG Masela kondisi free floating

RAO Pitch yang terbesar terjadi pada sudut 180° yaitu sebesar 0.41 deg/m dengan frekuensi 0.3 rad/sec, di ikuti sudut 45° dan 135° *RAO Pitch* terbesar yang terjadi adalah sebesar 0.39 deg/m pada frekuensi 0.4 rad/sec. Sedangkan untuk nilai *RAO Pitch* di sudut 90° bernilai sangat kecil bahkan relatif tak ada sama sekali.



Gambar 4.21 Yaw RAO FLNG Masela kondisi free floating

RAO Yaw yang terbesar terjadi pada sudut 45° dan 135° yaitu sebesar 0.23 deg/m dengan frekuensi 0.4 rad/sec, Sedangkan untuk nilai *RAO Yaw* di sudut 0° , 90° dan 180° bernilai sangat kecil bahkan relatif tak ada sama sekali.

4.6. Komparasi Tension dan Offset FLNG Masela dalam Analisa Time Domain

Komparasi *Tension* dan *Offset* dari *FLNG* akan menggunakan *Time Domain Analysis* yang akan dilakukan selama tiga jam, analisa akan dibantu dengan menggunakan *software Ariane 8*, analisa akan dilakukan pada setiap skenario pembebanan yang terdiri dari tiga keadaan yaitu *collinear*, *non-collinear I* dan *non-collinear II*. Pada kondisi pembebanan *collinear*, beban arus, angin dan gelombang datang dari arah yang sama, sedangkan pembebanan lingkungan kondisi *non-collinear* dimodelkan dengan arah datang angin dan gelombang yang berjarak 30° dari arah datang arus serta, arah datang dari arus, gelombang dan angin yang membentuk sudut sebesar 30°

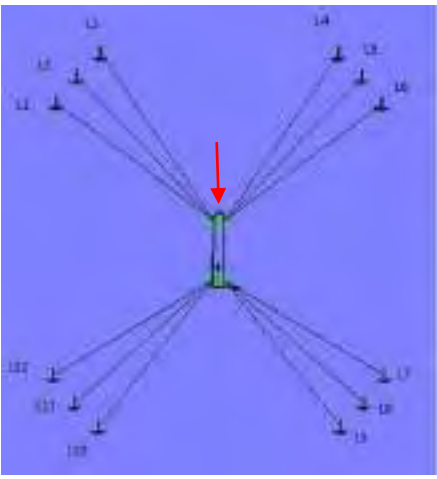
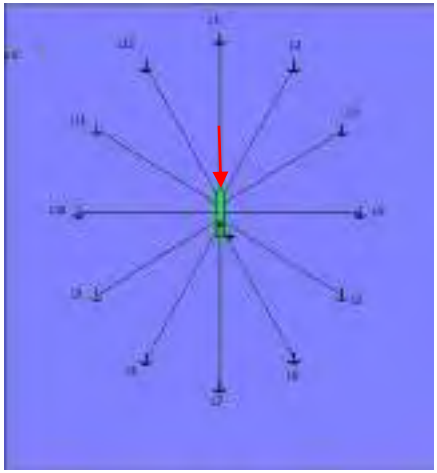
4.6.1. Komparasi Tension dan Offset FLNG Masela pada Kondisi Pembebanan Collinear

Pada analisis ini, kedua konfigurasi sistem tambat pada *FLNG* akan dikenakan beban lingkungan yang memiliki arah *collinear*, dimana arah datang *collinear* adalah keadaan dimana arah datang dari angin, arus, dan gelombang datang dari sudut yang sama. Simulasi *time domain* akan dilakukan selama tiga jam sesuai dengan ketentuan yang diberikan pada API RP 2SK

a. Arah Pembebanan 0°

Arah pembebanan dari arah Utara (N) yang merupakan arah *head seas* berdasarkan orientasi dari *FLNG*. Pada simulasi *FLNG* dengan konfigurasi sistem tambat *Spread mooring* dengan konfigurasi *Spread* dan *Group* yang telah di modelkan pada *software Ariane* akan disimulasikan dengan analisis *time domain simulation* dimana, kali ini beban gelombang, arus, dan angin datang dari arah 0° , berikut ini adalah rangkuman dari nilai *tension* signifikan yang merupakan pengolahan data dengan metode stokastik hasil analisis *time domain simulation* yang dilakukan selama tiga jam pada *software Ariane* . Tabel 4.10 berisi tentang besarnya *tension* signifikan pada setiap tali tambat pada konfigurasi *Spread* dan *Group*.

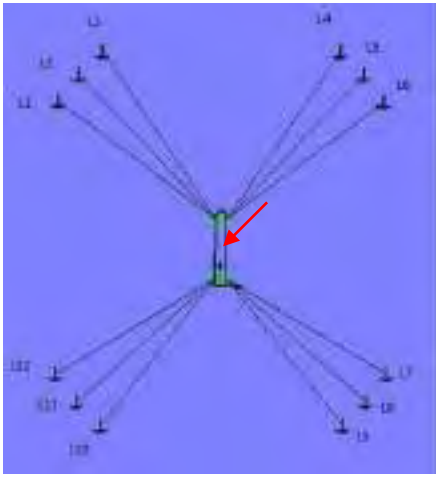
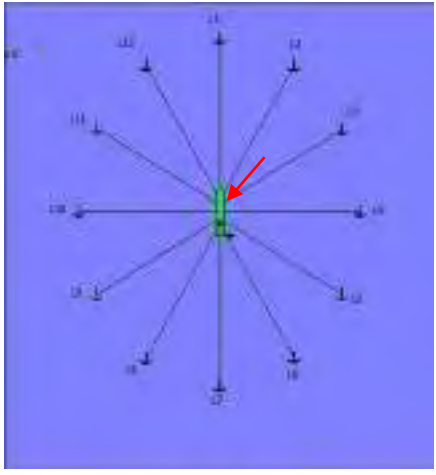
Tabel 4.10 Ringkasan *tension* signifikan pada tali dan *offset* pada arah pembebanan 0° (L1)

Konfigurasi Mooring	Mooring Lines	Max Tension	Max Offset [m]	
		[kN]	x	y
	L1	2697,01	69,10	0,02
	L2	2998,74		
	L3	3398,26		
	L4	3398,28		
	L5	2998,23		
	L6	2697,10		
	L7	2574,18		
	L8	2805,82		
	L9	3100,56		
	L10	3100,55		
	L11	2806,31		
	L12	2574,51		
	L1	4179,86	36,87	0,31
	L2	3586,27		
	L3	2781,44		
	L4	2026,09		
	L5	2660,84		
	L6	3275,41		
	L7	3671,01		
	L8	3290,10		
	L9	2676,06		
	L10	2029,89		
	L11	2782,71		
	L12	3590,72		

b. Arah Pembebanan 45 °

Arah pembebanan dari arah Timur Laut (NE) yang merupakan arah *quarter bow seas* berdasarkan orientasi dari *FLNG*. Pada simulasi kali ini beban gelombang, arus, dan angin datang dari arah 45°, berikut ini adalah ringkasan dari hasil analisa *time domain* yang dilakukan selama tiga jam pada *software Ariane 8*. Tabel 4.11 berisi tentang besarnya *tension* signifikan pada setiap tali tambat pada konfigurasi *Spread* dan *Group*.

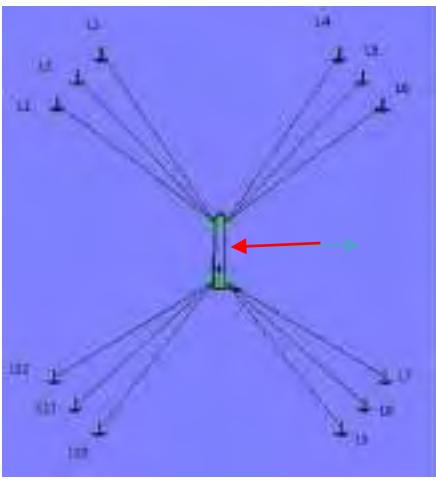
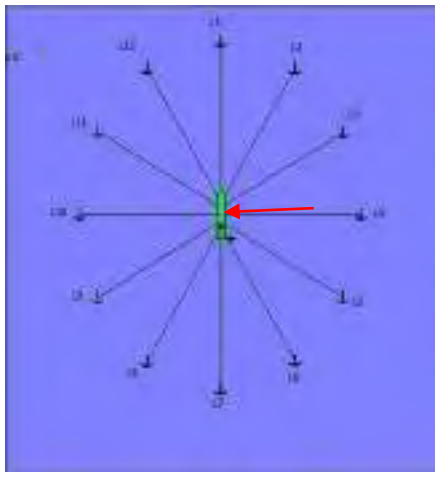
Tabel 4.11 Ringkasan maksimum *tension* pada tali dan offset pada arah pembebanan 45° (L3)

Konfigurasi Mooring	Mooring Lines	Max Tension	Max Offset	
		[kN]	x	y
	L1	4070,84	33,22	104,41
	L2	5980,69		
	L3	4988,86		
	L4	7497,48		
	L5	10142,50		
	L6	12650,13		
	L7	13130,77		
	L8	10185,97		
	L9	7262,39		
	L10	4058,23		
	L11	4919,31		
	L12	5864,26		
	L1	16598,14	286,56	139,53
	L2	29868,38		
	L3	43549,35		
	L4	38174,37		
	L5	38556,47		
	L6	26103,91		
	L7	16884,93		
	L8	24017,16		
	L9	29799,69		
	L10	22565,40		
	L11	26987,71		
	L12	22453,27		

c. Arah Pembebanan 90°

Arah pembebanan dari arah Timur (E) yang merupakan arah *beam seas* berdasarkan orientasi dari *FLNG*. Pada simulasi kali ini beban gelombang, arus, dan angin datang dari arah 90°, berikut ini adalah ringkasan dari hasil analisa *time domain* yang dilakukan selama tiga jam pada software Ariane 8. Tabel 4.12 berisi tentang besarnya *tension* signifikan pada setiap taliambat pada konfigurasi *Spread* dan *Group*.

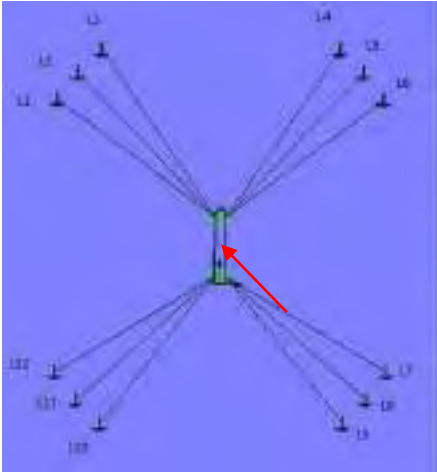
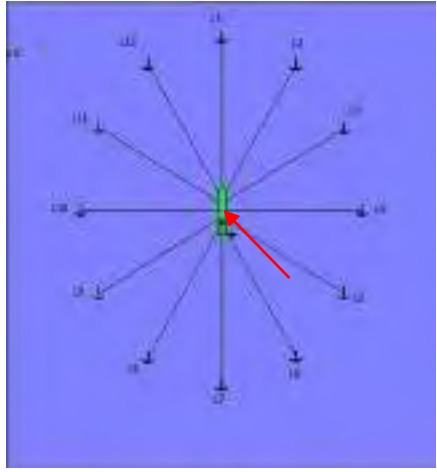
Tabel 4.12 Ringkasan *tension* signifikan pada tali dan *offset* pada arah pembebanan 90° (L4)

Konfigurasi Mooring	Mooring Lines	Max Tension	Max Offset	
		[kN]	x	y
	L1	4430,69	49,83	156,62
	L2	3779,13		
	L3	3210,70		
	L4	8335,15		
	L5	12221,98		
	L6	16009,05		
	L7	16783,95		
	L8	12471,63		
	L9	8192,26		
	L10	3181,28		
	L11	3635,23		
	L12	4089,42		
	L1	26253,10	150,88	342,64
	L2	45816,97		
	L3	47013,03		
	L4	62221,50		
	L5	54629,38		
	L6	42200,37		
	L7	27887,29		
	L8	37038,96		
	L9	42397,34		
	L10	29342,32		
	L11	33527,54		
	L12	31871,69		

d. Arah Pembebanan 135 °

Arah pembebanan dari arah Tenggara (SE) yang merupakan arah *quarter stern seas* berdasarkan orientasi dari *FLNG*. Pada simulasi kali ini beban gelombang, arus, dan angin datang dari arah 135°, berikut ini adalah ringkasan dari hasil analisis *time domain* yang dilakukan selama tiga jam pada *software Ariane*. Tabel 4.13 berisi tentang besarnya *tension* signifikan pada setiap tali tambat pada konfigurasi *Spread* dan *Group*.

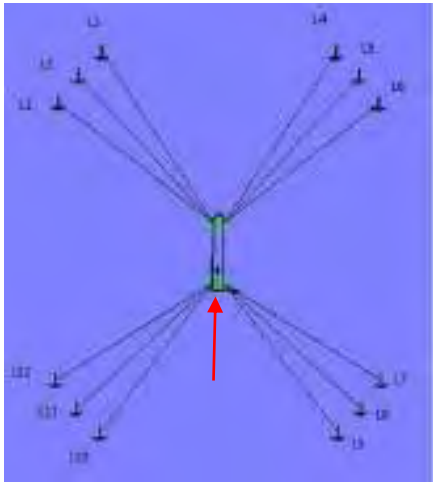
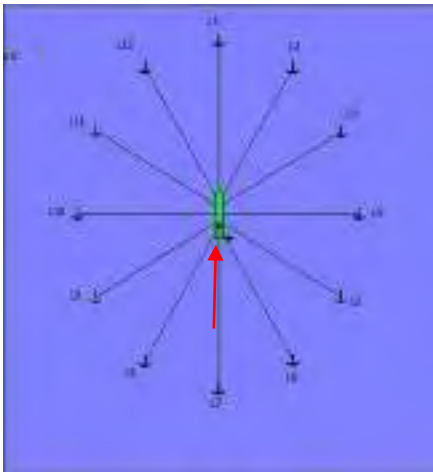
Tabel 4.13 Ringkasan maksimum *tension* pada tali dan *offset* pada arah pembebanan 135° (L5)

Konfigurasi Mooring	Mooring Lines	Max Tension	Max Offset	
		[kN]	x	y
	L1	2915,41	32,27	89,68
	L2	3955,68		
	L3	3475,81		
	L4	8881,85		
	L5	11747,41		
	L6	14325,19		
	L7	15657,46		
	L8	11708,14		
	L9	7860,23		
	L10	3255,49		
	L11	3383,78		
	L12	3483,63		
	L1	9527,24	297,72	163,80
	L2	22621,43		
	L3	40094,86		
	L4	31747,74		
	L5	43236,57		
	L6	27577,78		
	L7	13126,14		
	L8	21348,53		
	L9	23738,52		
	L10	19485,60		
	L11	28378,09		
	L12	16793,26		

e. Arah Pembebanan 180°

Arah pembebanan dari arah Selatan (S) yang merupakan arah *following seas* berdasarkan orientasi dari *FLNG*. Pada simulasi kali ini beban gelombang, arus, dan angin datang dari arah 180°, berikut ini adalah ringkasan dari hasil analisis *time domain* yang dilakukan selama tiga jam pada *software Ariane 8*. Tabel 4.14 berisi tentang besarnya *tension* signifikan pada setiap taliambat pada konfigurasi *Spread* dan *Group*.

Tabel 4.14 Ringkasan *tension* signifikan pada tali dan *offset* pada arah pembebanan 180° (L7)

Konfigurasi Mooring	Mooring Lines	Max Tension	Max Offset [m]	
		[kN]	x	y
	L1	2183,41	66,39	2,287
	L2	3030,44		
	L3	3170,69		
	L4	2975,71		
	L5	2817,51		
	L6	2681,47		
	L7	3595,10		
	L8	3594,13		
	L9	5235,32		
	L10	5297,68		
	L11	4309,76		
	L12	3598,00		
Konfigurasi Mooring	Mooring Lines	Max Tension	Max Offset [m]	
		[kN]	x	y
	L1	18098,98	91,90	6,85
	L2	12810,25		
	L3	4306,81		
	L4	2238,44		
	L5	5137,94		
	L6	17202,36		
	L7	23673,01		
	L8	17237,39		
	L9	5124,22		
	L10	2242,83		
	L11	4403,14		
	L12	12960,78		

Tabel – tabel diatas merupakan ringkasan dari hasil simulasi *time domain* dengan arah pembebanan *collinear* yang dilakukan selama tiga jam pada *software Ariane 8*, *Ariane 8* melakukan perhitungan terhadap besarnya gaya pada kapal, pergerakan kapal, besarnya beban pada tali tambat, yang dihitung pada interval 0,1 detik. *Output* dari simulasi tersebut tidak bisa langsung digunakan sebagai kesimpulan dari simulasi. Data – data tersebut telah diolah untuk mendapatkan nilai

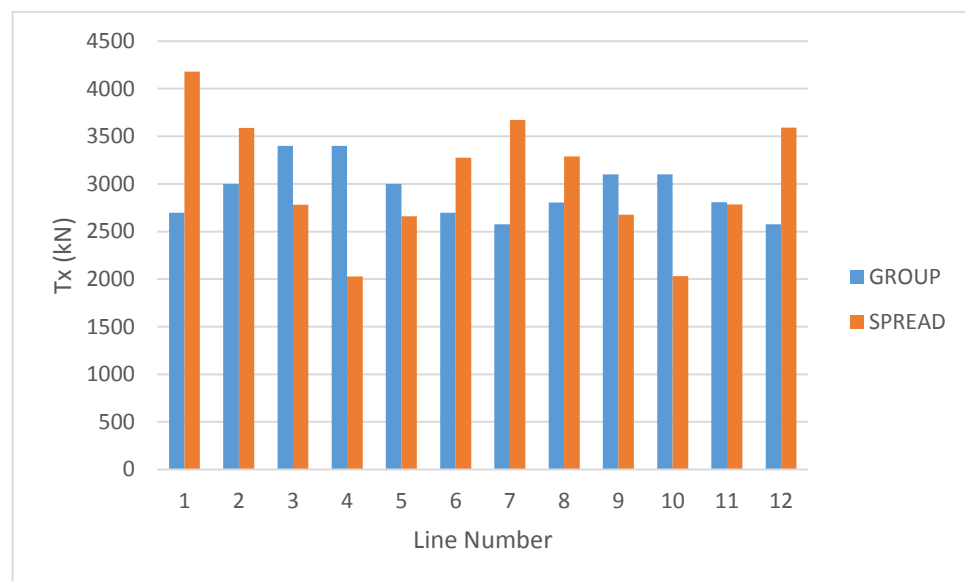
rata – rata dan signifikan *tension* yang terjadi pada setiap tali tambat dan juga *offset* dari kapal.

Untuk memudahkan dalam melihat hasil output *tension* signifikan beserta *offset* yang dihasilkan dan melihat bagaimana persebaran *tension* yang terjadi di setiap tali pada kedua konfigurasi, dapat dilihat dalam pembahasan dibawah ini.

a. Arah Pembebanan 0°

Berdasarkan hasil pengolahan *time history data* yang berisi tentang besarnya *tension* yang terjadi serta posisi pada kapal di setiap detiknya, maka berikut adalah pembahasan tentang nilai *tension* signifikan dan *offset* signifikan yang terjadi pada arah pembebanan 0°. Gambar 4.22 menampilkan perbandingan *tension* signifikan pada setiap tali pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 0°. Gambar 4.23 menampilkan perbandingan *offset* signifikan *FLNG* pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 0°

- *Tension* Signifikan pada Tali

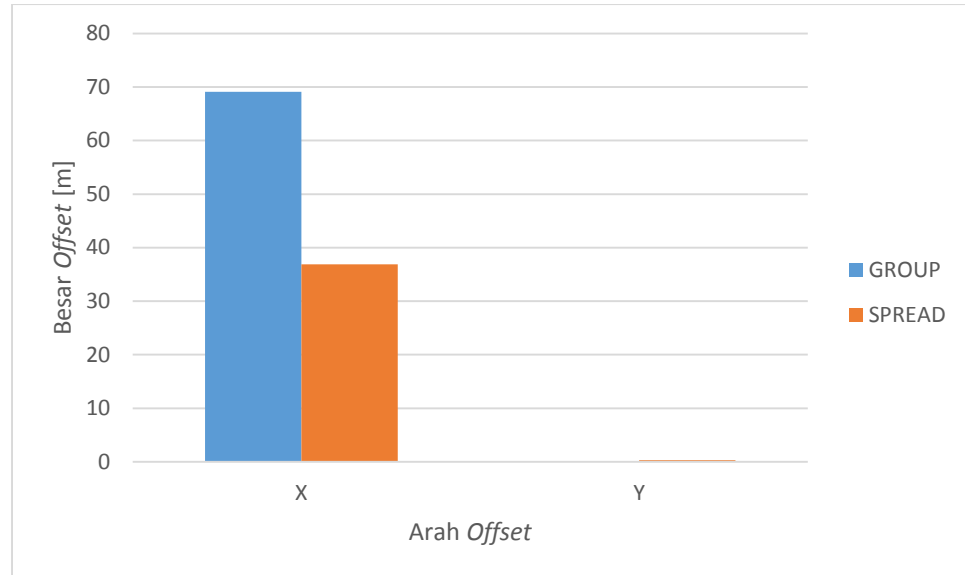


Gambar 4.22 *Tension* signifikan untuk konfigurasi *Spread* dan *Group* pada arah pembebanan 0°

Pada arah pembebanan 0°, *tension* yang terbesar terjadi pada konfigurasi *Spread* pada tali nomor 1, besarnya *tension* yang terjadi pada tali nomor 1 adalah 4179 kN, sedangkan untuk konfigurasi *Group*, *tension* terbesar terjadi pada tali

nomor 3 yakni sebesar 3398 kN, pada arah pembebanan ini kedua konfigurasi memberikan hasil *tension* yang cenderung stabil pada setiap tali nya.

- *Offset* Signifikan



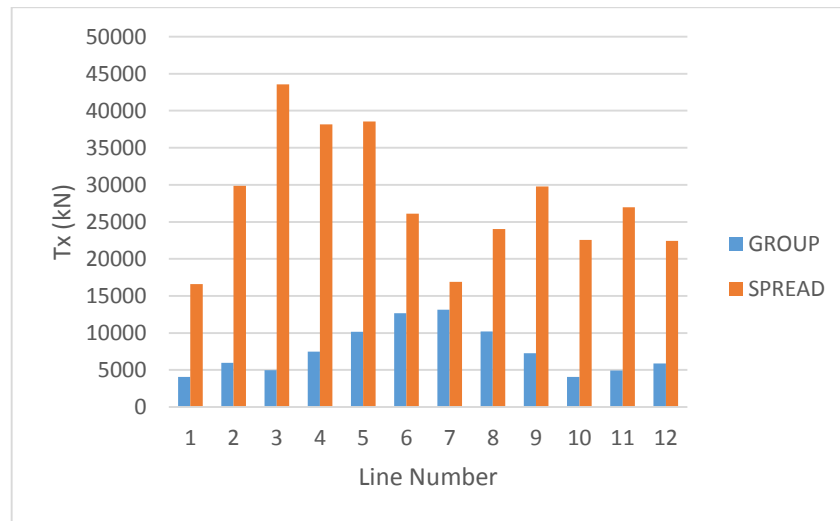
Gambar 4.23 *Offset* signifikan pada untuk konfigurasi *Spread* dan *Group* pada arah pembebanan 0°

Offset terbesar pada arah pembebanan 0° terjadi pada konfigurasi *Group* sebesar 69 m pada arah sumbu x , sedangkan untuk konfigurasi *Spread* *offset* terbesar adalah 36 m yang terjadi pada arah sumbu x. Kedua konfigurasi tidak mengalami pergerakan yang berarti pada arah sumbu y.

b. Arah pembebanan 45°

Berdasarkan hasil pengolahan *time history data* yang berisi tentang besarnya *tension* yang terjadi serta posisi pada kapal di setiap detiknya, maka berikut adalah pembahasan tentang nilai *tension* signifikan dan *offset* signifikan yang terjadi pada arah pembebanan 0° . Gambar 4.24 menampilkan perbandingan *tension* signifikan pada setiap tali pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 45° . Gambar 4.25 menampilkan perbandingan *offset* signifikan *FLNG* pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 45°

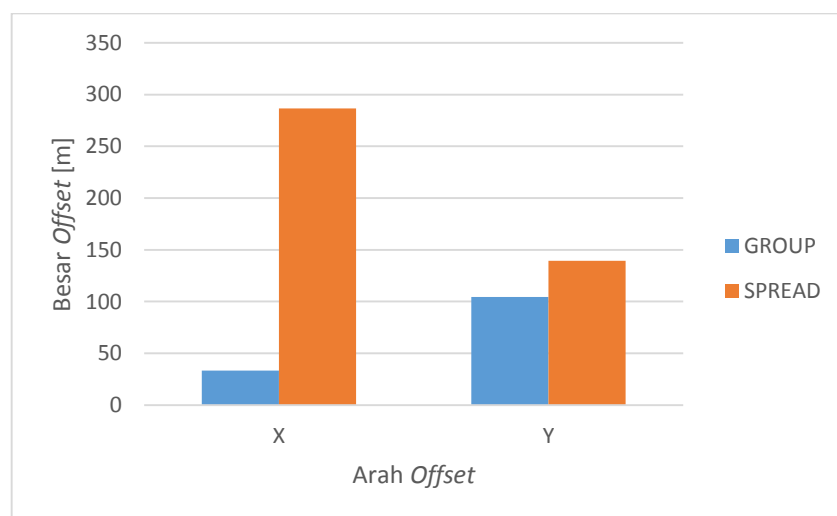
- *Tension* Signifikan pada Tali



Gambar 4.24 *Tension* signifikan untuk konfigurasi *Spread* dan *Group* pada arah pembebanan 45°

Pada arah pembebanan 45°, tali tambat yang memiliki nilai *tension* signifikan terbesar ialah tali tambat nomor 3 pada konfigurasi *Spread*, besar *tension* yang terjadi pada tali tersebut ialah 43549 kN, sedangkan pada konfigurasi *Group* nilai *tension* signifikan terbesar terjadi pada tali nomor 7 sebesar 13130 kN, pada arah pembebanan ini terlihat bahwa konfigurasi *Group* memiliki nilai *tension* signifikan yang lebih kecil pada setiap tali nya.

- *Offset* Signifikan



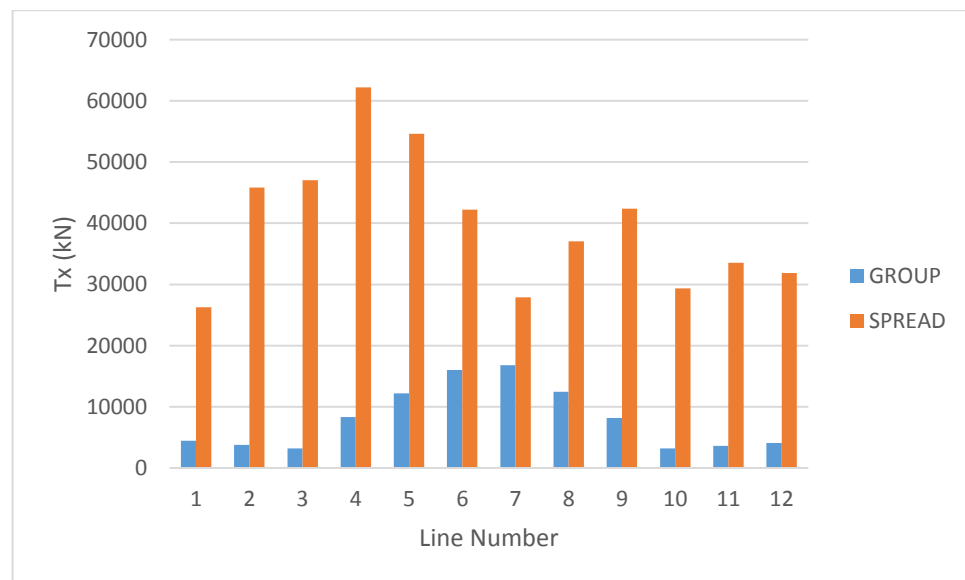
Gambar 4.25 *Offset* signifikan arah x dan y untuk konfigurasi *Spread* dan *Group* pada arah pembebanan 45°

Pada arah pembebanan 45° , *offset* signifikan terbesar terjadi pada arah sumbu x yakni sebesar 286 m yang terjadi pada konfigurasi *Spread*, sedangkan pada konfigurasi *Group*, *offset* terbesar terjadi pada arah sumbu y sebesar 104 m, dari hasil diatas maka untuk arah pembebanan 45° konfigurasi *Group* menghasilkan nilai *tension* dan juga *offset* yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Spread*.

c. Arah Pembebanan 90°

Berdasarkan hasil pengolahan *time history data* yang berisi tentang besarnya *tension* yang terjadi serta posisi pada kapal di setiap detiknya, maka berikut adalah pembahasan tentang nilai *tension* signifikan dan *offset* maksimum yang terjadi pada arah pembebanan 90° . Gambar 4.26 menampilkan perbandingan *tension* signifikan pada setiap tali pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 90° . Gambar 4.27 menampilkan perbandingan *offset* signifikan *FLNG* pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 90°

- *Tension* Signifikan pada Tali

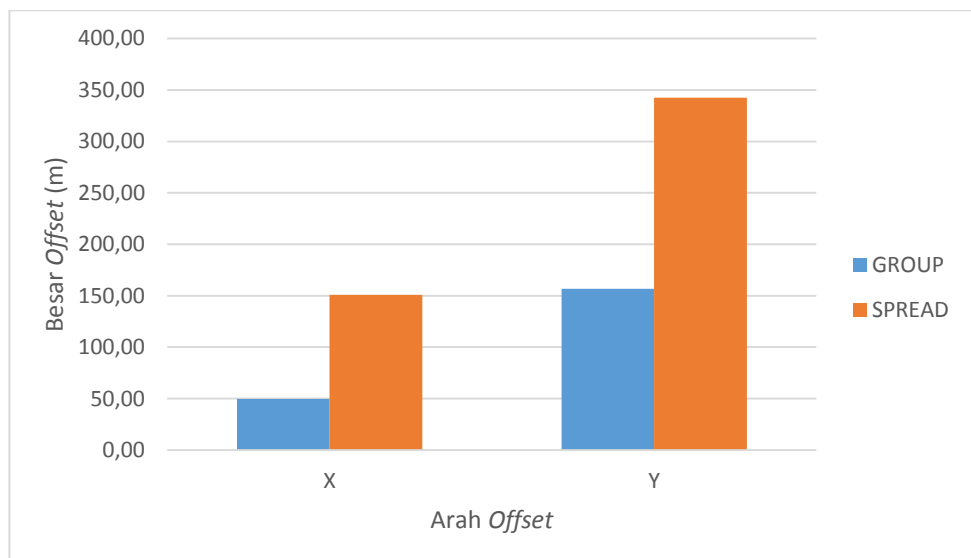


Gambar 4.26 *Tension* signifikan untuk konfigurasi *Spread* dan *Group* pada arah pembebanan 90°

Pada arah pembebanan 90° , *tension* signifikan terbesar terjadi pada konfigurasi *Spread* pada tali nomor 4 sebesar 62221,50 kN, sedangkan pada

konfigurasi *Group*, *tension* signifikan tertinggi terjadi pada tali nomor 7 sebesar 16783,95 kN, pada arah pembebanan 90° konfigurasi *Group* memiliki *tension* signifikan yang jauh lebih kecil dari pada konfigurasi *Spread*. Pada arah pembebanan 90°, *tension* yang terjadi pada konfigurasi *Group* terkumpul pada tali tambat pada bagian sisi kanan (*portside*) dari *FLNG*, sedangkan *tension* yang terjadi pada konfigurasi *Spread* memiliki nilai yang fluktuatif terhadap nomor tali pada konfigurasi tersebut, dapat dilihat pada Gambar 4.28, bahwa tali tambat nomor 4 dan tali nomor 5 memiliki nilai *tension* yang paling besar dibandingkan dengan tali – tali yang lain pada konfigurasi *Spread* pada arah pembebanan 90°

- *Offset* Signifikan



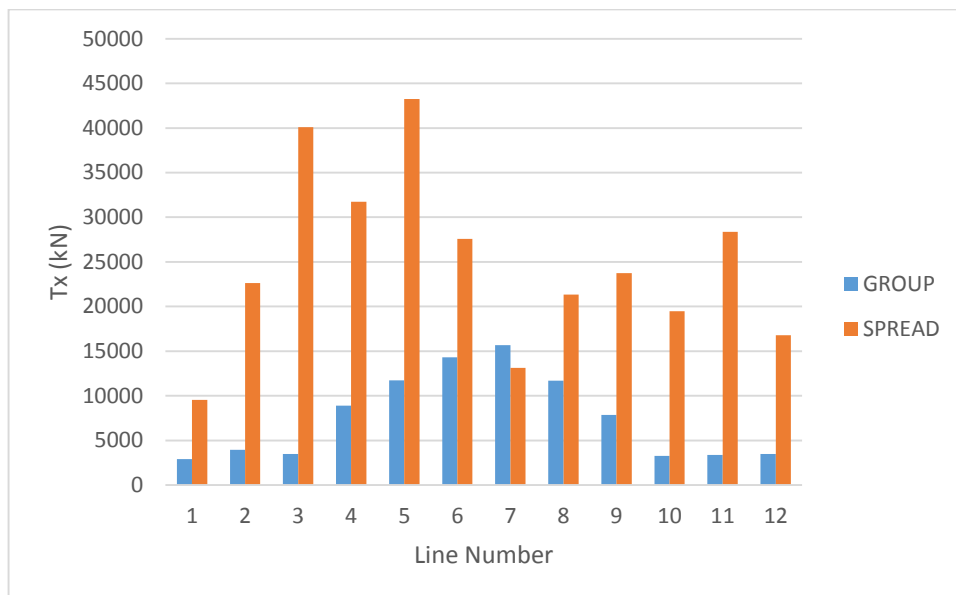
Gambar 4.27 *Offset* signifikan untuk konfigurasi *Spread* dan *Group* pada arah pembebanan 90°

Dari diagram diatas dapat dilihat bahwa *offset* terbesar terjadi pada arah sumbu y pada konfigurasi *Spread* sebesar 342 m, sedangkan *offset* terbesar yang terjadi pada konfigurasi *Group* adalah 156,62 m pada arah sumbu y. Dari diagram diatas, pada arah pembebanan 90° konfigurasi *Group* memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Spread*.

d. Arah Pembebanan 135°

Berdasarkan hasil pengolahan *time history data* yang berisi tentang besarnya *tension* yang terjadi serta posisi pada kapal di setiap detiknya, maka berikut adalah pembahasan tentang nilai *tension* signifikan dan *offset* maksimum yang terjadi pada arah pembebanan 135°. Gambar 4.28 menampilkan perbandingan *tension* signifikan pada setiap tali pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 135°. Gambar 4.29 menampilkan perbandingan *offset* signifikan *FLNG* pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 135°

- *Tension* Signifikan pada Tali

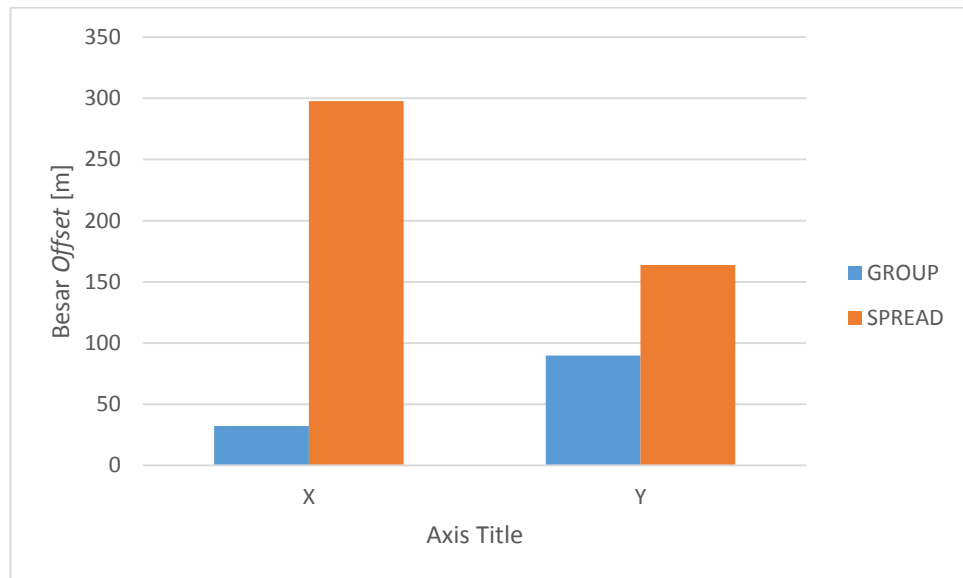


Gambar 4.28 *Tension* signifikan untuk konfigurasi *Spread* dan *Group* pada arah pembebanan 135°

Pada arah pembebanan 135°, *tension* signifikan terbesar terjadi pada konfigurasi *Spread* pada tali nomor 5 sebesar 43236 kN, sedangkan pada konfigurasi *Group*, *tension* signifikan tertinggi terjadi pada tali nomor 7 sebesar 15657,46 kN, pada arah pembebanan 135° konfigurasi *Group* memiliki *tension* signifikan yang jauh lebih kecil dari pada konfigurasi *Spread*. Pada arah pembebanan 135°, *tension* yang terjadi pada konfigurasi *Group* terkumpul pada tali tambat pada bagian sisi kanan (*portside*) dari *FLNG*, sedangkan *tension* yang terjadi pada konfigurasi *Spread* memiliki nilai yang fluktuatif terhadap nomor tali pada konfigurasi tersebut, dapat dilihat pada Gambar 4.28, bahwa tali tambat nomor 3

dan tali nomor 5 memiliki nilai *tension* yang paling besar dibandingkan dengan tali – tali yang lain pada konfigurasi *Spread* pada arah pembebanan 135°

- *Offset* Signifikan



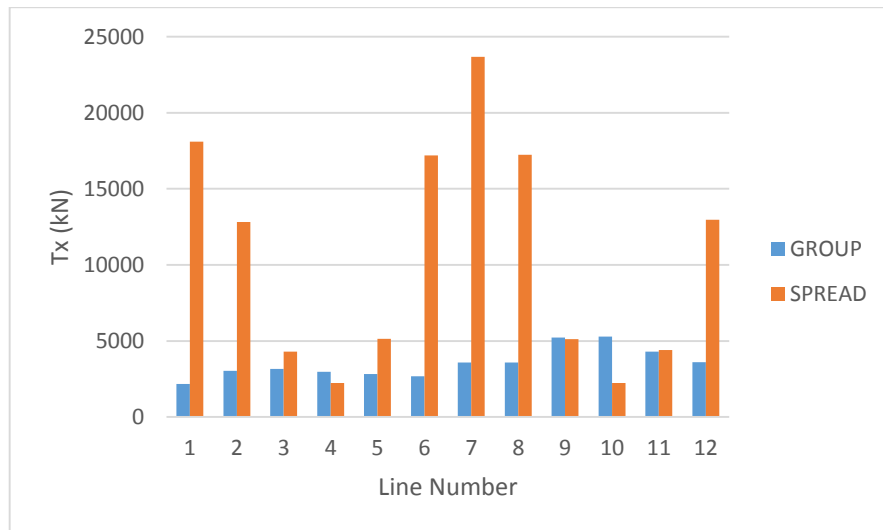
Gambar 4.29 *Offset* signifikan untuk konfigurasi *Spread* dan *Group* pada arah pembebanan 135°

Dari diagram diatas dapat dilihat bahwa *offset* terbesar terjadi pada arah sumbu x pada konfigurasi *Spread* sebesar 297 m, sedangkan *offset* terbesar yang terjadi pada konfigurasi *Group* adalah 89,68 m pada arah sumbu y. Dari diagram diatas, dapat disimpulkan bahwa pada arah pembebanan 135° konfigurasi *Group* memberikan hasil *tension* dan *offset* yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Spread*.

e. Arah Pembebanan 180°

Berdasarkan hasil pengolahan *time history data* yang berisi tentang besarnya *tension* yang terjadi serta posisi pada kapal di setiap detiknya, maka berikut adalah pembahasan tentang nilai *tension* signifikan dan *offset* maksimum yang terjadi pada arah pembebanan 180° . Gambar 4.30 menampilkan perbandingan *tension* signifikan pada setiap tali pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 180° . Gambar 4.31 menampilkan perbandingan *offset* signifikan *FLNG* pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 180°

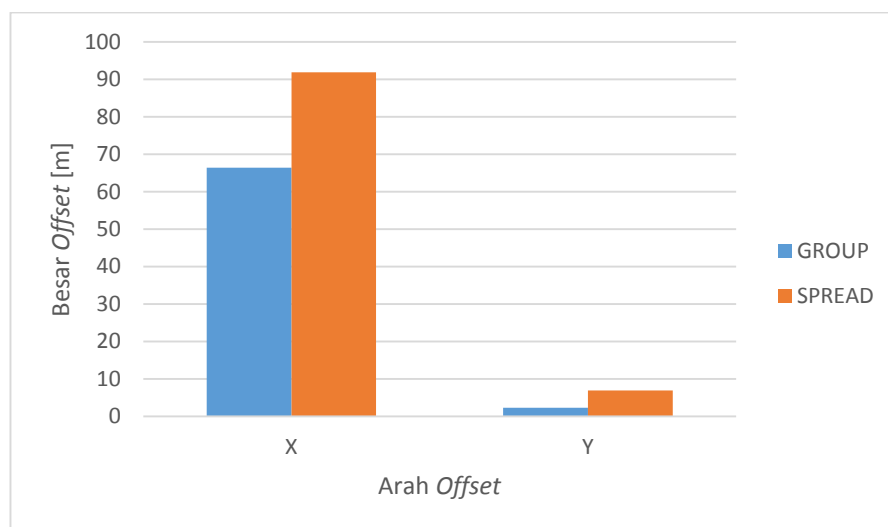
- *Tension* Signifikan pada Tali



Gambar 4.30 *Tension* signifikan untuk konfigurasi *Spread* dan *Group* pada arah pembebanan 180°

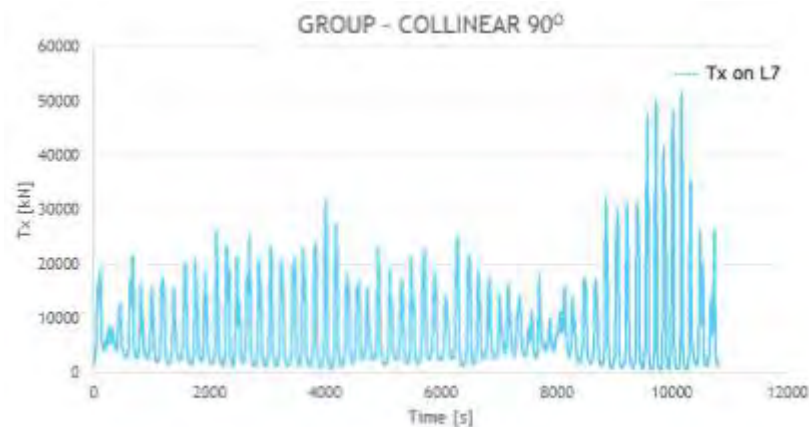
Pada arah pembebanan 180°, *tension* signifikan terbesar terjadi pada konfigurasi *Spread* pada tali nomor 7 sebesar 23673 kN, sedangkan pada konfigurasi *Group*, *tension* signifikan tertinggi terjadi pada tali nomor 10 sebesar 5297 kN, pada arah pembebanan 135° konfigurasi *Group* memiliki *tension* signifikan yang jauh lebih kecil dari pada konfigurasi *Spread*.

- *Offset* Signifikan

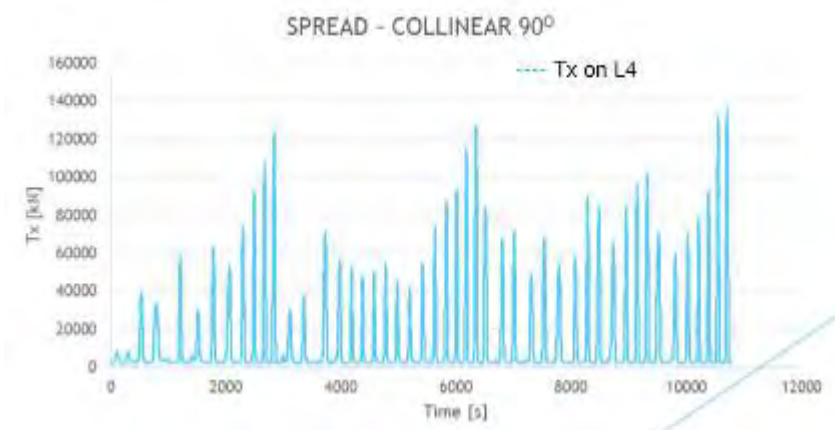


Gambar 4.31 *Offset* signifikan untuk konfigurasi *Spread* dan *Group* pada arah pembebanan 180°

Dari diagram diatas dapat dilihat bahwa *offset* terbesar terjadi pada arah sumbu x pada konfigurasi *Spread* sebesar 91,90 m, sedangkan *Offset* terbesar yang terjadi pada konfigurasi *Group* adalah 66,39 m pada arah sumbu x. Dari diagram diatas, pada arah pembebanan 180° konfigurasi *Group* memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Spread*. Data – data yang ditampilkan pada Tabel 4.10 – 4.14 merupakan hasil pengolahan data *time series* dari simulasi *time domain* yang menunjukkan bahwa pada kondisi pembebanan *collinear*, pembebanan dari arah 90° menghasilkan nilai *tension* yang paling besar dibandingkan dengan arah – arah pembebanan lainnya pada konfigurasi *Spread* dan *Group*. Gambar 4.32 – 4.33 menunjukkan data *time series* hasil simulasi *time domain*.



Gambar 4.32 *Tension* pada L7 konfigurasi *Group* pada arah pembebanan 90°



Gambar 4.33 *Tension* pada L4 konfigurasi *Spread* pada arah pembebanan 90°

Setelah mengetahui nilai *tension* signifikan untuk setiap arah pembebanan *collinear* terhadap konfigurasi *Spread* dan *Group*, Tabel 4.15 adalah ringkasan *tension* dan *offset* signifikan terbesar beserta konfigurasinya pada setiap arah pembebanan *collinear*

Tabel 4.15 Ringkasan *tension* dan *offset* signifikan terbesar beserta konfigurasinya pada setiap arah pembebanan *collinear*

Arah Pembebanan	Max Tension [kN]	Max Offset [m]		Konfigurasi	Lines
		x	y		
0	4179,00	36,87	0,31	SPREAD	L1
45	43549,36	286,56	139,53	SPREAD	L3
90	62221,50	342,04	150,08	SPREAD	L4
135	43236,57	297,72	163,80	SPREAD	L5
180	23673,01	91,90	6,85	SPREAD	L7

Dari tabel diatas dapat kita ketahui bahwa konfigurasi *Spread* mengalami *tension* yang lebih besar dibandingkan dengan konfigurasi *Group* pada pembebanan kondisi *collinear*.

4.6.2. Komparasi *Tension* dan *Offset FLNG* Masela pada Kondisi Pembebanan *Non-Collinear I*

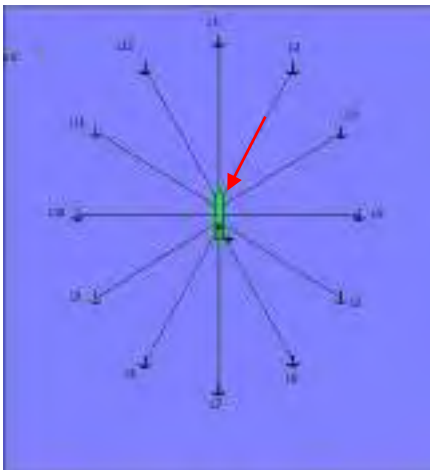
Pada analisa ini, kedua konfigurasi sistem tambat pada FLNG akan dikenakan beban lingkungan yang memiliki arah *non-collinear*, dimana arah datang *non-collinear* adalah keadaan dimana arah datang dari angin, arus, dan gelombang datang dari sudut yang berbeda. Pada simulasi kali ini, skenario pembebanan yang akan dilakukan adalah arah datang dari angin dan gelombang akan membentuk sudut sebesar $+30^\circ$ dari arah datang arus. Simulasi *time domain* akan dilakukan selama tiga jam sesuai dengan ketentuan yang diberikan pada API RP 2P

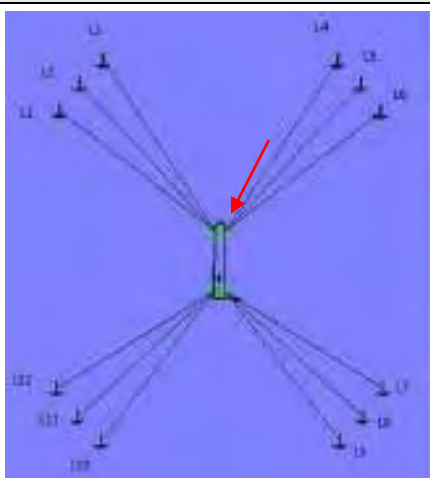
a. Arah Pembebanan 0° - 30° - 30°

Pada simulasi kali ini beban arus dari arah 0° , sedangkan beban gelombang, dan angin datang dari arah 30° . Nilai *tension* signifikan pada setiap tali tambat dari data hasil analisis simulasi *time domain* untuk arah pembebanan 0° - 30° - 30° didapatkan dengan menggunakan metode perhitungan stokastik. Pada Tabel 4.16

adalah ringkasan dari hasil analisis *time domain* yang dilakukan selama tiga jam pada *software Ariane 8*.

Tabel 4.16 Ringkasan *tension* signifikan tali tambat pada konfigurasi *Spread* dan *Group* dan *offset* pada arah pembebanan 0°-30°-30° (L2)

Konfigurasi <i>Mooring</i>	<i>Mooring Lines</i>	<i>Max Tension</i>	<i>Max Offset</i> [m]	
		[kN]	x	y
	L1	3494,25	184,44	107,99
	L2	17947,99		
	L3	16082,51		
	L4	5912,36		
	L5	14770,53		
	L6	4484,99		
	L7	3057,48		
	L8	12569,71		
	L9	9885,11		
	L10	3800,46		
	L11	12935,96		
	L12	5257,69		

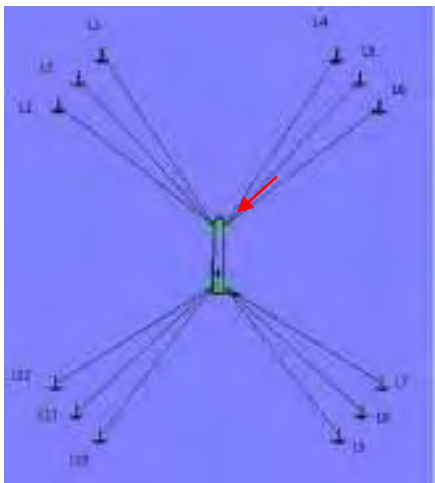
Konfigurasi <i>Mooring</i>	<i>Mooring Lines</i>	<i>Max Tension</i>	<i>Max Offset</i> [m]	
		[kN]	x	y
	L1	2043,72	27,18	25,69
	L2	2759,48		
	L3	2815,08		
	L4	3130,76		
	L5	3146,99		
	L6	3173,92		
	L7	3208,41		
	L8	3161,17		
	L9	3103,88		
	L10	2556,24		
	L11	2516,02		
	L12	2486,95		

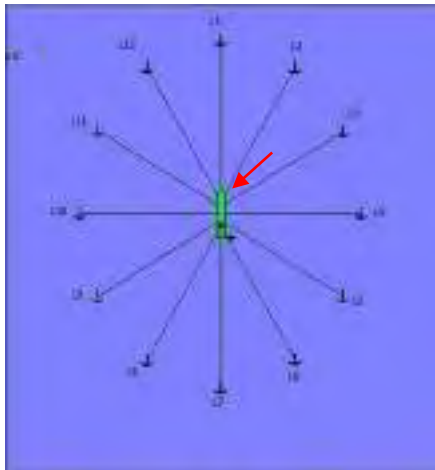
b. Arah Pembebanan 45°-75°-75°

Pada simulasi kali ini beban arus dari arah 45°, sedangkan beban gelombang, dan angin datang dari arah 75°. Nilai *tension* signifikan pada setiap tali tambat dari data hasil analisis simulasi *time domain* untuk arah pembebanan 45°-

75°-75° didapatkan dengan menggunakan metode perhitungan stokastik. Pada Tabel 4.17 adalah ringkasan dari hasil analisis *time domain* yang dilakukan selama tiga jam pada *software Ariane 8*.

Tabel 4.17 Ringkasan tension signifikan pada tali tambat dan offset pada arah pembebanan 45°-75°-75° (L3)

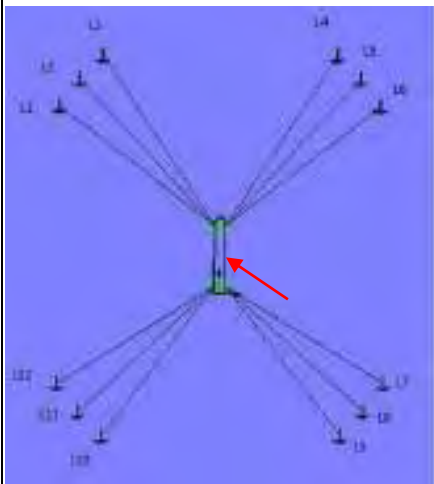
Konfigurasi Mooring	Mooring Lines	Max Tension	Max Offset [m]	
		[kN]	x	y
	L1	3306,81	32,11	90,04
	L2	4845,81		
	L3	4041,67		
	L4	7101,83		
	L5	9612,40		
	L6	12049,89		
	L7	12569,46		
	L8	9651,02		
	L9	6835,14		
	L10	3615,27		
	L11	4164,48		
	L12	4733,37		

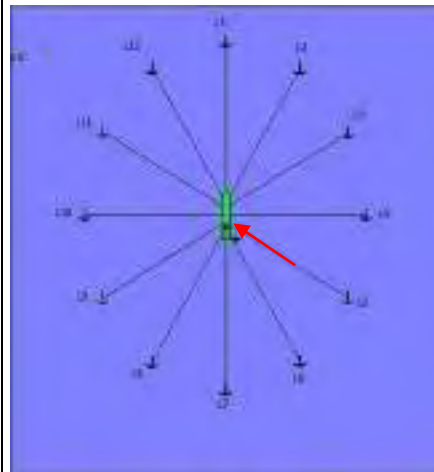
Konfigurasi Mooring	Mooring Lines	Max Tension	Max Offset [m]	
		[kN]	x	y
	L1	20478,08	322,74	130,89
	L2	39509,58		
	L3	55063,89		
	L4	38067,23		
	L5	40880,10		
	L6	31831,77		
	L7	21856,79		
	L8	32701,57		
	L9	40226,91		
	L10	23173,53		
	L11	24882,20		
	L12	25424,97		

c. Arah Pembebanan 90°-120°-120°

Pada simulasi kali ini beban arus dari arah 90°, sedangkan beban gelombang, dan angin datang dari arah 120°. Tabel 4.18 adalah ringkasan dari hasil analisa time domain yang dilakukan selama tiga jam pada *software Ariane 8*.

Tabel 4.18 Ringkasan *tension* signifikan pada tali tambat dan *offset* pada arah pembebanan 90°-120°-120° (L5)

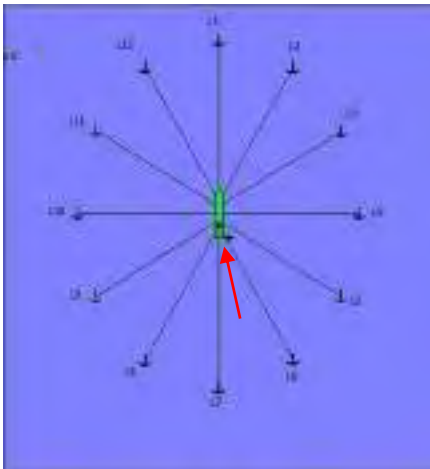
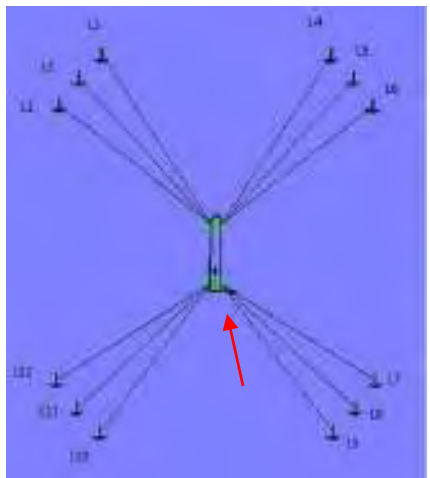
Konfigurasi Mooring	Mooring Lines	Max Tension	Max Offset [m]	
		[kN]	x	y
	L1	2108,96	32,27	89,69
	L2	2915,41		
	L3	3475,81		
	L4	8881,86		
	L5	11747,42		
	L6	14325,20		
	L7	15657,47		
	L8	11708,14		
	L9	7860,23		
	L10	3255,50		
	L11	3383,88		
	L12	3483,64		

Konfigurasi Mooring	Mooring Lines	Max Tension	Max Offset [m]	
		[kN]	x	y
	L1	9640,32	302,62	182,24
	L2	24718,64		
	L3	51966,92		
	L4	49662,00		
	L5	54155,63		
	L6	26924,84		
	L7	12106,78		
	L8	21905,21		
	L9	31436,65		
	L10	30501,67		
	L11	32102,37		
	L12	18262,03		

d. Arah Pembebanan 135° -165° -165°

Pada simulasi kali ini beban arus dari arah 135°, sedangkan beban gelombang, dan angin datang dari arah 165°. Berikut ini adalah ringkasan dari hasil analisa *time domain* yang dilakukan selama tiga jam pada *software Ariane 8*. Nilai *tension* signifikan pada setiap tali tambat dari data hasil analisis *simulasi time domain* untuk arah pembebanan 45°-75°-75°.

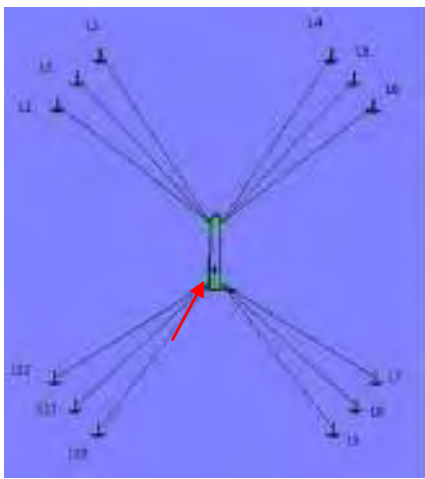
Tabel 4.19 Ringkasan *tension* signifikan pada tali tambat dan *offset* pada arah pembebanan 135°-165°-165° (L7)

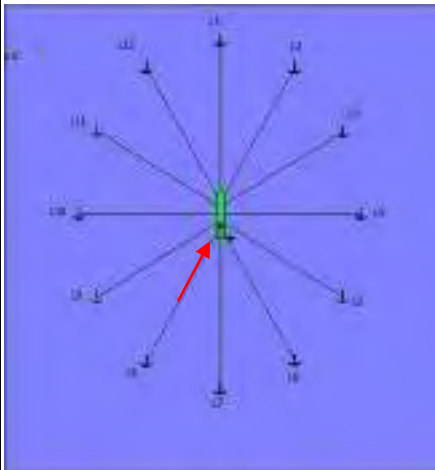
Konfigurasi Mooring	Mooring Lines	Max Tension	Max Offset [m]	
		[kN]	x	y
	L1	21161,07	228,24	180,85
	L2	21574,76		
	L3	7945,53		
	L4	3332,61		
	L5	4375,41		
	L6	20224,04		
	L7	40167,21		
	L8	31193,73		
	L9	9456,74		
	L10	4468,95		
	L11	10871,40		
	L12	25040,14		
Konfigurasi Mooring	Mooring Lines	Max Tension	Max Offset [m]	
		[kN]	x	y
	L1	2115,96	36,40	63,92
	L2	2759,58		
	L3	2626,27		
	L4	4249,16		
	L5	5138,09		
	L6	6203,57		
	L7	7355,55		
	L8	6279,88		
	L9	5381,50		
	L10	2993,04		
	L11	2873,25		
	L12	2749,94		

e. Arah pembebanan 180° -210° -210°

Pada simulasi kali ini beban arus dari arah 180°, sedangkan beban gelombang, dan angin datang dari arah 210°. Tabel 4.20 adalah ringkasan dari hasil analisa *time domain* yang dilakukan selama tiga jam pada *software Ariane 8*.

Tabel 4.20 Ringkasan *tension* signifikan pada tali tambat dan *offset* pada arah pembebanan 180°-210° -210° (L8)

Konfigurasi Mooring	Mooring Lines	Max Tension	Max Offset [m]	
		[kN]	x	y
	L1	2303,27	45,74	41,68
	L2	2983,62		
	L3	2897,65		
	L4	2277,87		
	L5	2277,87		
	L6	2350,43		
	L7	2836,12		
	L8	3114,17		
	L9	3447,04		
	L10	4484,70		
	L11	4285,90		
	L12	4172,33		

Konfigurasi Mooring	Mooring Lines	Max Tension	Max Offset [m]	
		[kN]	x	y
	L1	3249,02	147,25	141,73
	L2	8624,09		
	L3	10614,22		
	L4	12748,29		
	L5	5032,39		
	L6	3463,01		
	L7	5885,06		
	L8	21207,09		
	L9	19594,68		
	L10	4746,92		
	L11	2835,84		
	L12	2641,25		

Tabel – tabel diatas merupakan ringkasan dari hasil simulasi *time domain* dengan arah pembebanan *non-collinear* dengan arah datang beban angin dan

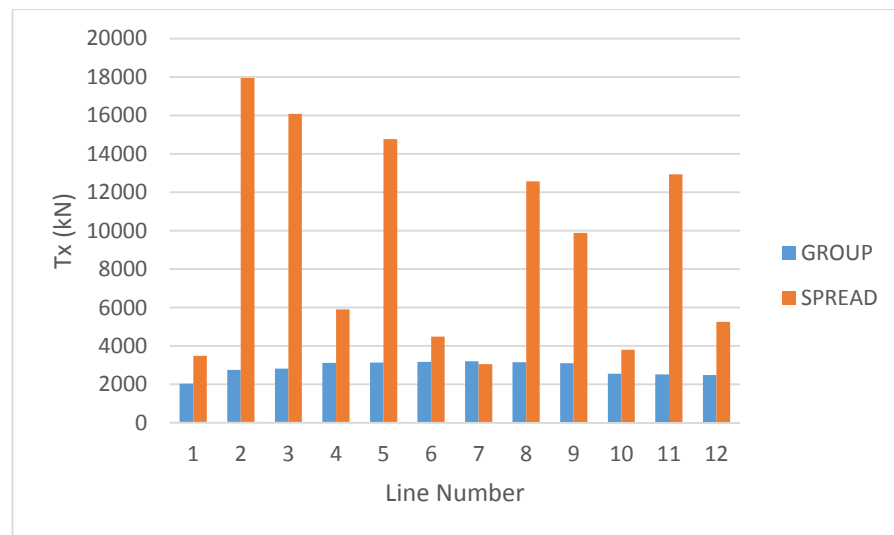
gelombang $+30^\circ$ dari arah datang beban arus yang dilakukan selama tiga jam pada *software Ariane 8*, *Ariane 8* melakukan perhitungan terhadap besarnya gaya pada kapal, pergerakan kapal, besarnya beban pada tali tambat, yang dihitung pada interval 0,1 detik. *Output* dari simulasi tersebut tidak bisa langsung digunakan sebagai kesimpulan dari simulasi. Data – data tersebut perlu diolah untuk mendapatkan nilai rata – rata dan signifikan *tension* yang terjadi pada setiap tali tambat dan juga *offset* dari kapal.

Untuk memudahkan dalam melihat hasil output *tension* signifikan beserta *offset* yang dihasilkan dan melihat bagaimana persebaran *tension* yang terjadi di setiap tali pada kedua konfigurasi, dapat dilihat dalam pembahasan dibawah ini.

a. Arah Pembebanan 0° - 30° - 30°

Berdasarkan hasil pengolahan *time history data* yang berisi tentang besarnya *tension* yang terjadi serta posisi pada kapal di setiap detiknya, Gambar 4.34 dan 4.35 adalah pembahasan tentang nilai *tension* signifikan dan *offset* signifikan yang terjadi pada arah pembebanan 0° - 30° - 30° .

- *Tension* Signifikan pada Tali

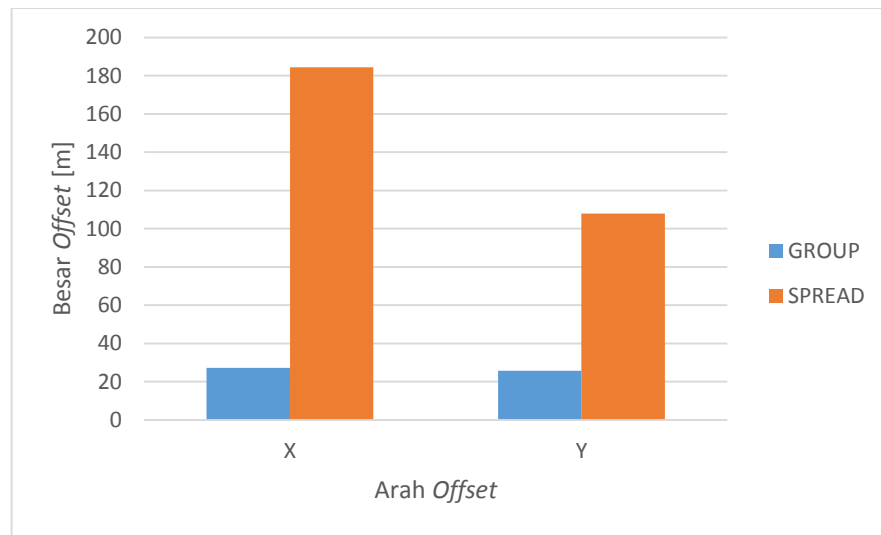


Gambar 4.34 *Tension* signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 0° - 30° - 30°

Pada arah pembebanan 0° - 30° - 30° , *tension* signifikan terbesar terjadi pada konfigurasi *Spread* pada tali nomor 2 sebesar 17947 kN, sedangkan pada

konfigurasi *Group*, *tension* signifikan tertinggi terjadi pada tali nomor 7 sebesar 3208 kN, pada arah pembebanan 0° - 30° - 30° konfigurasi *Group* memiliki *tension* signifikan yang jauh lebih kecil dari pada konfigurasi *Spread* pada setiap tali tambat.

- *Offset* Signifikan



Gambar 4.35 *Offset* signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 0° - 30° - 30°

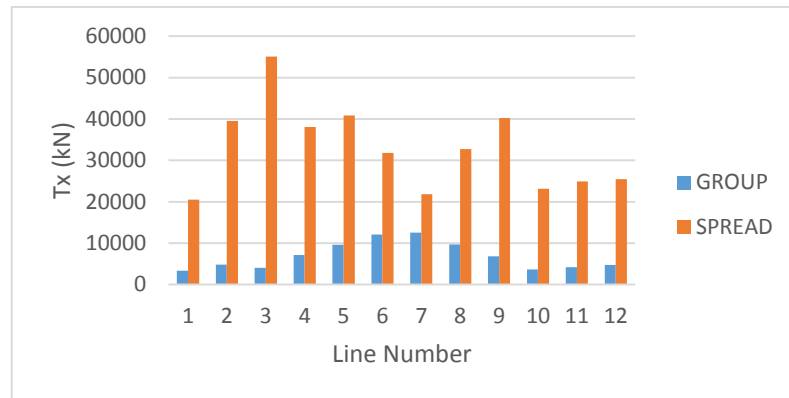
Dari diagram diatas dapat dilihat bahwa *offset* terbesar terjadi pada arah sumbu x pada konfigurasi *Spread* sebesar 184 m, sedangkan *Offset* terbesar yang terjadi pada konfigurasi *Group* adalah 27,18 m pada arah sumbu x. Dari diagram diatas, pada arah pembebanan 0° - 30° - 30° konfigurasi *Group* memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Spread*.

b. Arah pembebanan 45° - 75° - 75°

Berdasarkan hasil nilai *tension* signifikan hasil pengolahan data *time history data* yang berisi tentang besarnya *tension* yang terjadi serta posisi pada kapal di setiap detiknya, dari hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *tension* dan *offset* signifikan yang dihasilkan oleh konfigurasi *Spread* dan *Group* pada arah pembebanan 45° - 75° - 75° menunjukkan hasil yang sangat berbeda, maka berikut adalah pembahasan tentang nilai *tension* signifikan dan *offset* signifikan yang terjadi pada arah pembebanan 45° - 75° - 75° . Gambar 4.35 menampilkan

perbandingan *tension* signifikan pada setiap tali tambat pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 45° - 75° - 75° . Gambar 4.36 menampilkan perbandingan *offset* signifikan *FLNG* pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 45° - 75° - 75° .

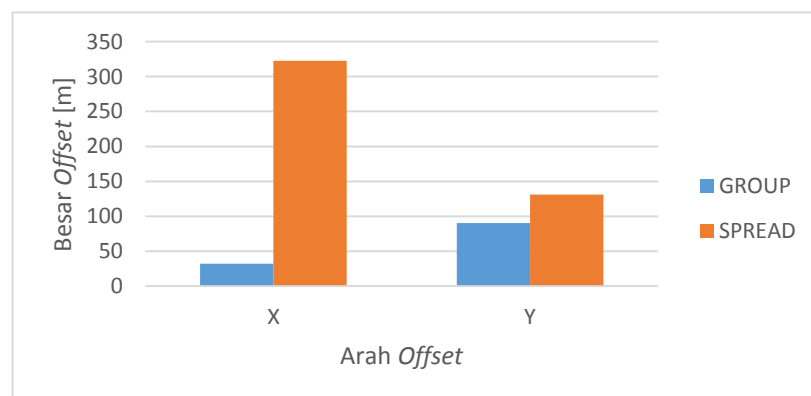
- *Tension* Signifikan pada Tali



Gambar 4.36 *Tension* signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 45° - 75° - 75°

Pada arah pembebanan 45° - 75° - 75° , *tension* signifikan terbesar terjadi pada konfigurasi *Spread* pada tali nomor 3 sebesar 55063,89 kN, sedangkan pada konfigurasi *Group*, *tension* signifikan tertinggi terjadi pada tali nomor 7 sebesar 12569,46 kN, pada arah pembebanan 45° - 75° - 75° konfigurasi *Group* memiliki *tension* signifikan yang jauh lebih kecil dari pada konfigurasi *Spread*.

- *Offset* signifikan



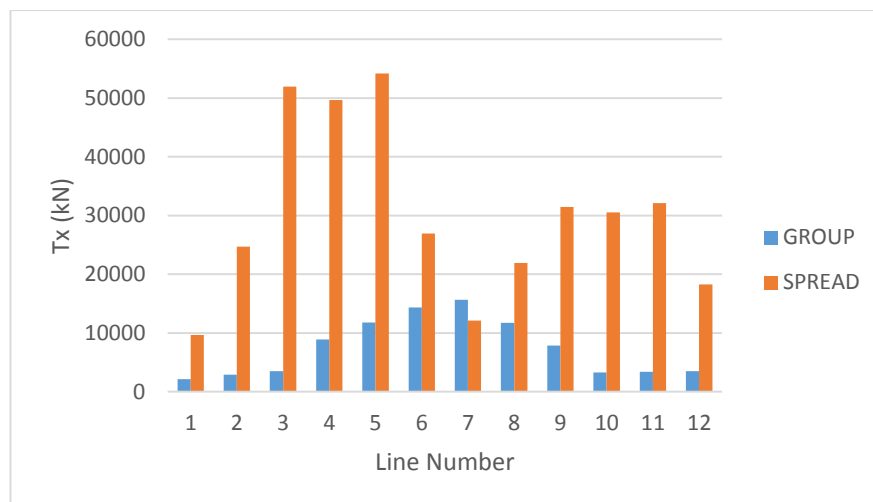
Gambar 4.37 *Offset* signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 45° - 75° - 75°

Dari diagram diatas dapat dilihat bahwa *offset* terbesar terjadi pada arah sumbu x pada konfigurasi *Spread* sebesar 322,74 m, sedangkan *offset* terbesar yang terjadi pada konfigurasi *Group* adalah 90,03 m pada arah sumbu y. Dari diagram diatas, pada arah pembebanan 45°-75°-75° konfigurasi *Group* memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Spread*.

c. Arah Pembebanan 90° -120° -120°

Berdasarkan hasil pengolahan *time history data* yang berisi tentang besarnya *tension* yang terjadi serta posisi pada kapal di setiap detiknya, maka berikut adalah pembahasan tentang nilai *tension* signifikan dan *offset* signifikan yang terjadi pada arah pembebanan 90°-120°-120°. Gambar 4.38 menampilkan perbandingan *tension* signifikan pada setiap tali tambat pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 90°-120°-120°. Gambar 4.39 menampilkan perbandingan *offset* signifikan *FLNG* pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 90°-120°-120°.

- *Tension* Signifikan pada Tali

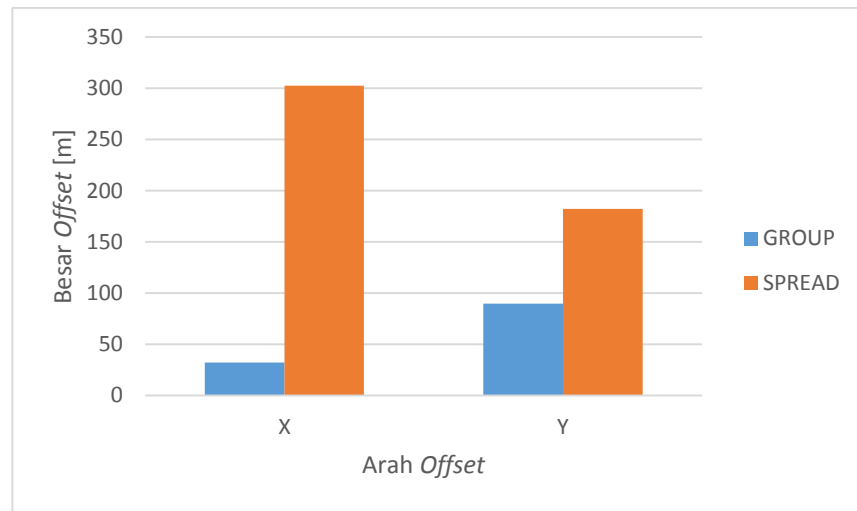


Gambar 4.38 *Tension* signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 90°-120°-120°

Nilai *tension* yang dihasilkan oleh konfigurasi *Spread* dan *Group* pada arah pembebanan 90°-120°-120° memiliki hasil yang sangat berbeda, konfigurasi *Group* menunjukkan nilai *tension* terbesar terjadi pada tali tambat yang berposisi pada bagian kanan kapal (*starboard*) sedangkan untuk konfigurasi *Spread* menunjukkan

nilai *tension* yang berbeda – beda pada setiap tali nya, *tension* signifikan terbesar yang dihasilkan oleh konfigurasi *Spread* terjadi pada tali nomor 3 dan 5, Pada arah pembebanan 90° - 120° - 120° , *tension* signifikan terbesar terjadi pada konfigurasi *Spread* pada tali nomer 5 sebesar 51966,91 kN, sedangkan pada konfigurasi *Group*, *tension* signifikan tertinggi terjadi pada tali nomer 7 sebesar 15657,46 kN, pada arah pembebanan 90° - 120° - 120° konfigurasi *Group* memiliki *tension* signifikan yang jauh lebih kecil dari pada konfigurasi *Spread* pada setiap tali tambat.

- *Offset* Signifikan



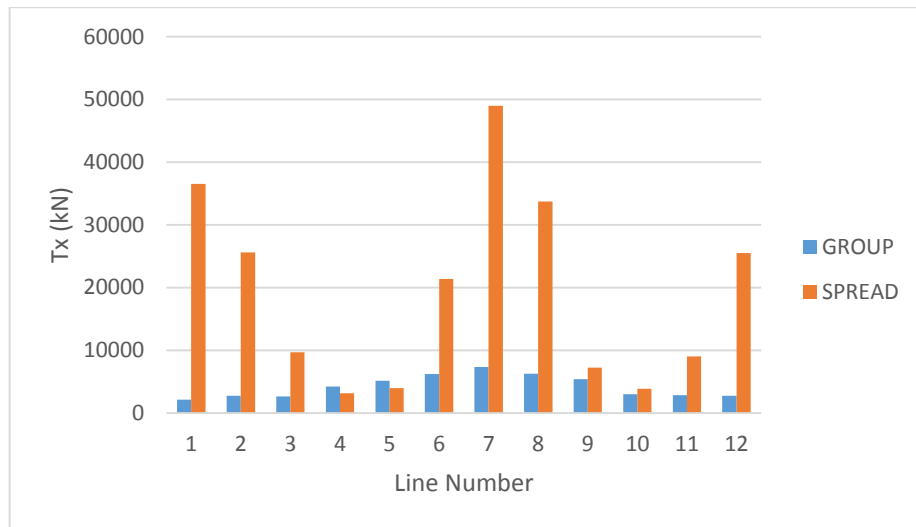
Gambar 4.39 *Offset* signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 90° - 120° - 120°

Dari diagram diatas dapat dilihat bahwa *offset* terbesar terjadi pada arah sumbu x pada konfigurasi *Spread* sebesar 302,62 m, sedangkan *offset* terbesar yang terjadi pada konfigurasi *Group* adalah 89,68 m pada arah sumbu y. Dari diagram diatas, pada arah pembebanan 90° - 120° - 120° konfigurasi *Group* memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Spread*.

d. Arah Pembebanan 135° - 165° - 165°

Berdasarkan hasil pengolahan *time history data* yang berisi tentang besarnya *tension* yang terjadi serta posisi pada kapal di setiap detik nya, maka berikut adalah pembahasan tentang nilai *tension* signifikan dan *offset* maksimum yang terjadi pada arah pembebanan 135° - 165° - 165°

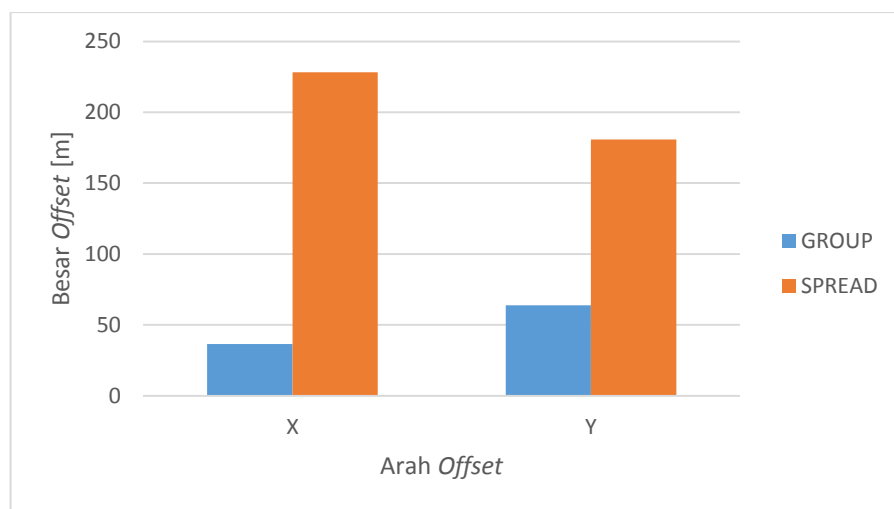
- *Tension* Signifikan pada Tali



Gambar 4.40 *Tension* signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 135° -165° -165°

Pada arah pembebanan 135°-165°-165°, *tension* signifikan terbesar terjadi pada konfigurasi *Spread* pada tali nomer 7 sebesar 40167,21 kN, sedangkan pada konfigurasi *Group*, *tension* signifikan tertinggi terjadi pada tali nomer 7 sebesar 7355,55 kN, pada arah pembebanan 90°-120°-120° konfigurasi *Group* memiliki *tension* signifikan yang jauh lebih kecil dari pada konfigurasi *Spread* pada setiap tali tambat.

- *Offset* Signifikan



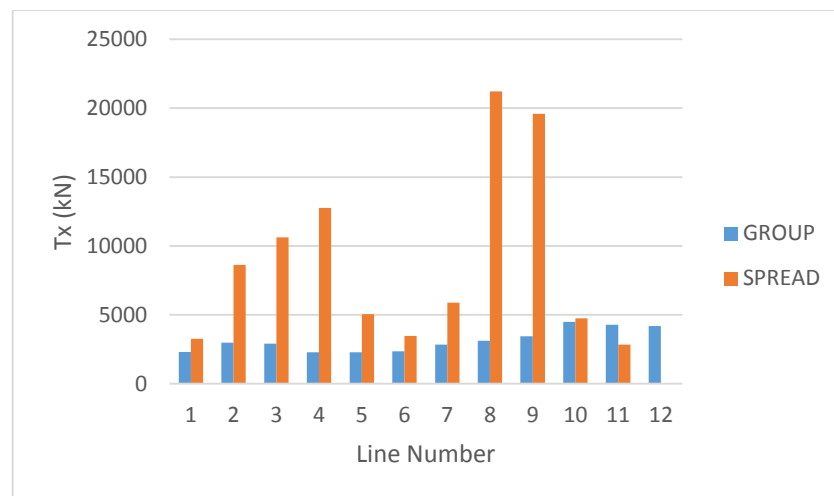
Gambar 4.41 *Offset* signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 135° -165° -165°

Dari diagram diatas dapat dilihat bahwa *offset* terbesar terjadi pada arah sumbu x pada konfigurasi *Spread* sebesar 228,24 m, sedangkan *offset* terbesar yang terjadi pada konfigurasi *Group* adalah 63,92 m pada arah sumbu y. Dari diagram diatas, pada arah pembebanan 135°-165°-165° konfigurasi *Group* memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Spread*.

e. Arah Pembebanan 180° -210° -210°

Berdasarkan hasil pengolahan *time history data* yang berisi tentang besarnya *tension* yang terjadi serta posisi pada kapal di setiap detiknya, maka berikut adalah pembahasan tentang nilai *tension* signifikan dan *offset* signifikan yang terjadi pada arah pembebanan 180°-210°-210°. Gambar 4.42 menampilkan perbandingan *tension* signifikan pada setiap tali tambat pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 180°-210°-210°. Gambar 4.43 menampilkan perbandingan *offset* signifikan *FLNG* pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 180°-210°-210°.

- *Tension* Signifikan pada Tali

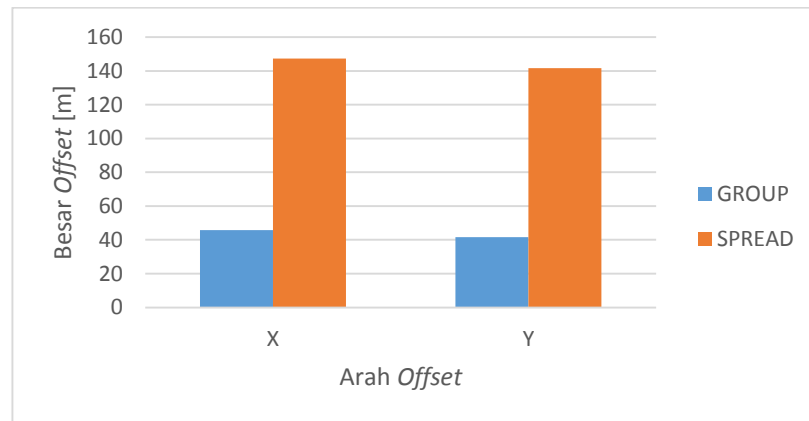


Gambar 4.42 *Tension* signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 180° -210° -210°

Pada arah pembebanan 180°-210°-210°, *tension* signifikan terbesar terjadi pada konfigurasi *Spread* pada tali nomor 8 sebesar 21207,09 kN, sedangkan pada konfigurasi *Group*, *tension* signifikan tertinggi terjadi pada tali nomor 10 sebesar

4484,70 kN, pada arah pembebanan 180°-210°-210° konfigurasi *Group* memiliki *tension* signifikan yang jauh lebih kecil dari pada konfigurasi *Spread*.

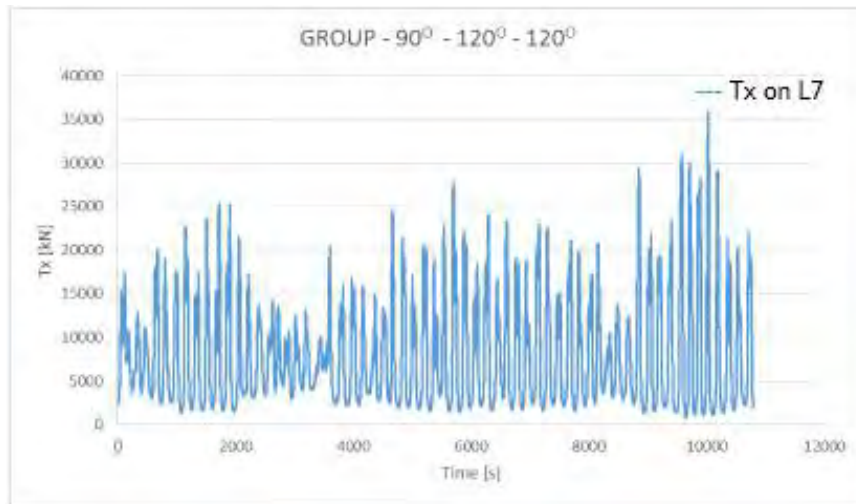
- *Offset* Signifikan



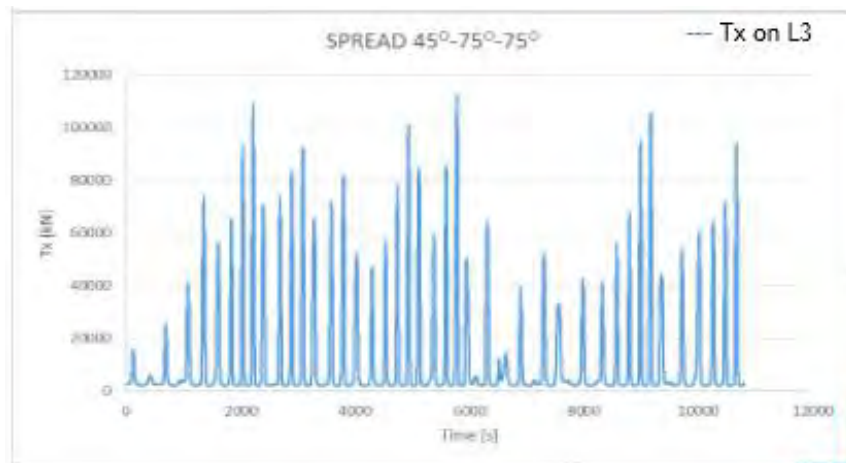
Gambar 4.43 *Offset* signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 180° -210° -210°

Dari diagram diatas dapat dilihat bahwa *offset* terbesar terjadi pada arah sumbu x pada konfigurasi *Spread* sebesar 147,4 m, sedangkan *Offset* terbesar yang terjadi pada konfigurasi *Group* adalah 45,42 m pada arah sumbu x. Dari diagram diatas, pada arah pembebanan 180°-210°-210° konfigurasi *Group* memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Spread*.

Data – data pada Tabel 4.16 – 4.20 merupakan *tension* signifikan hasil pengolahan data *time series* dari simulasi *time domain* untuk kondisi pembebanan *non-collinear I* . Data *tension* signifikan tersebut didapatkan dengan pengolahan data metode stokastik yang dihitung dari data *tension time series* hasil simulasi *time domain* pada *software Ariane* untuk setiap arah pembebanan pada kondisi pembebanan *non-collinear I*. Pada pembebanan kondisi *non-collinear I* menunjukkan bahwa konfigurasi *Spread* dan *Group* menghasilkan nilai *tension* signifikan tertinggi yang berbeda – beda pada setiap arah pembebanan, untuk konfigurasi *Spread*, hasil *tension* signifikan terbesar terjadi pada tali tambat nomor 3 untuk arah pembebanan 45°-75°-75°, sedangkan untuk konfigurasi *Group* nilai *tension* signifikan terbesar terjadi pada tali tambat nomor 7 untuk arah pembebanan 90°-120°-120° .Gambar 4.44 – 4.45 menunjukkan data *tension time series* terbesar hasil simulasi *time domain* untuk kondisi pembebanan *non-collinear I* .



Gambar 4.44 *Tension* pada L7 pada konfigurasi *Group* pada arah pembebanan 90° - 120° - 120°



Gambar 4.45 *Tension* pada L7 pada konfigurasi *Group* pada arah pembebanan 90° - 120° - 120°

Nilai *tension time series* untuk konfigurasi *Group* pada tali tambat nomor 7 arah pembebanan 90° - 120° - 120° menunjukkan nilai yang relatif stabil, sedangkan nilai *tension time series* untuk konfigurasi *Spread* pada tali tambat nomor 3 menunjukkan kenaikan yang berfluktuatif.

Setelah mengetahui nilai *tension* signifikan untuk setiap arah pembebanan terhadap kedua konfigurasi *mooring*, Tabel 4.21 adalah ringkasan nilai *tension* dan *offset* signifikan terbesar pada tali tambat beserta konfigurasi pada setiap arah pembebanan *non-collinear I*.

Tabel 4.21 Ringkasan *tension* signifikan tali tambat kondisi pembebanan *non-collinear I*

Arah Pembebanan	Max Tension [kN]	Max Offset [m]		Konfigurasi	Lines
		x	y		
0-30-30	17947,99	184,44	107,99	SPREAD	L2
45-75-75	55063,89	322,74	130,89	SPREAD	L3
90-120-120	54155,63	302,62	182,24	SPREAD	L5
135-165-165	40167,21	228,24	180,85	SPREAD	L7
180-210-210	21207,09	147,25	147,23	SPREAD	L8

Bila dilihat berdasarkan pada Gambar 4.32 – 4.41 , hasil *tension* pada setiap tali tambat yang dihasilkan oleh konfigurasi *Spread* menunjukkan nilai yang lebih besar daripada *tension* pada setiap tali tambat yang dihasilkan oleh konfigurasi *Group*

Dari tabel diatas dapat kita ketahui bahwa konfigurasi *Spread* mengalami *tension* dan *offset* yang lebih besar dibandingkan dengan konfigurasi *Group* pada pembebanan kondisi *non-collinear I*.

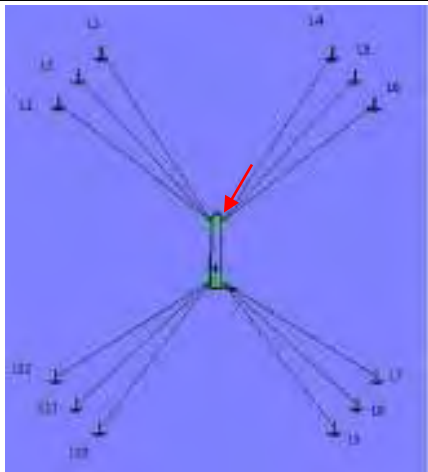
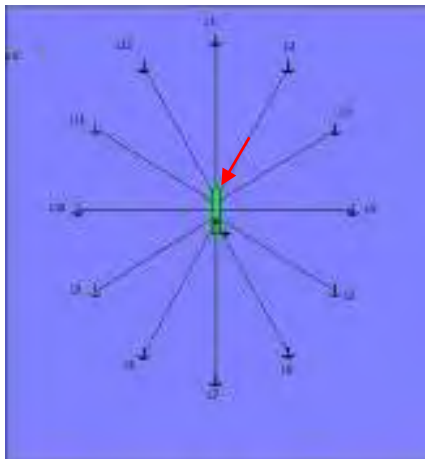
4.6.3. Komparasi *Tension* dan *Offset FLNG* Masela pada Kondisi Pembebanan *Non-Collinear II*

Pada analisis ini, kedua konfigurasi sistem tambat pada *FLNG* akan dikenakan beban lingkungan yang memiliki arah *non-collinear*, dimana arah datang *non-collinear* adalah keadaan dimana arah datang dari angin, arus, dan gelombang datang dari sudut yang berbeda. Pada simulasi kali ini, skenario pembebanan yang akan dilakukan adalah arah datang dari masing – masing beban yakni angin, gelombang, dan arus akan membentuk sudut sebesar $+30^\circ$. Analisis yang dilakukan pada skenario pembebanan *non-collinear* kali ini akan dilakukan dengan bantuan *software Ariane* dengan metode *time domain simulation*. Analisis dilakukan hanya untuk melihat karakteristik *tension* dan *offset* yang terjadi pada konfigurasi *Spread* dan *Group* tanpa menghitung kekuatan tali tambat akibat *tension* yang terjadi dengan kriteria *safety factor* yang ditentukan pada API RP 2SK, dengan menggunakan metode *time domain simulation* pada *software Ariane* yang dilakukan selama tiga jam sesuai dengan ketentuan yang diberikan pada API RP 2SK.

a. Arah Pembebanan 0°-30°-60°

Pada simulasi *FLNG* dengan konfigurasi sistem tambat *Spread mooring* dengan konfigurasi *Spread* dan *Group* yang telah di modelkan pada *software Ariane* akan disimulasikan dengan analisis *time domain simulation*. Pada simulasi kali ini beban arus dari arah 0°, sedangkan beban gelombang datang dari arah 30° dan angin datang dari arah 60°.berikut ini adalah rangkuman dari nilai *tension* signifikan yang merupakan pengolahan data dengan metode stokastik. Tabel 4.22 berisi tentang besarnya *tension* signifikan pada setiap tali tambat pada konfigurasi *Spread* dan *Group* pada arah pembebanan 0°-30°-60°.

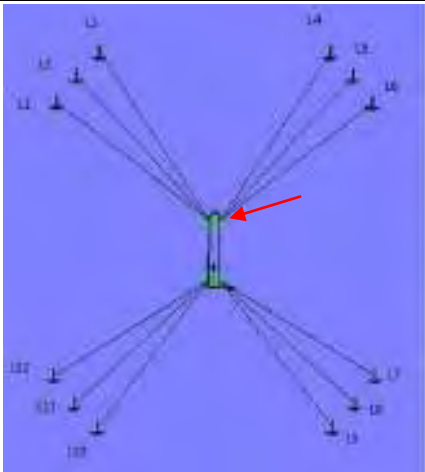
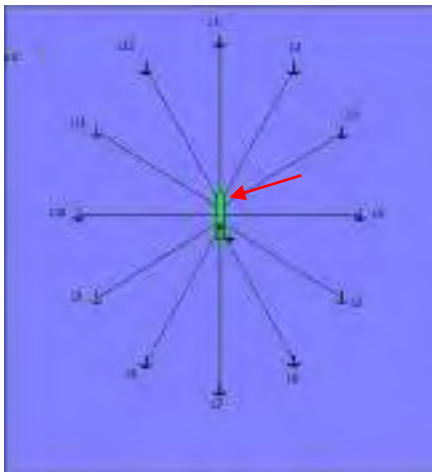
Tabel 4.22 Ringkasan *tension* signifikan pada tali tambat dan *offset* pada arah pembebanan 0°-30°-60° (L2)

Konfigurasi Mooring	Mooring Lines	Max Tension	Max Offset [m]	
		[kN]	x	y
	L1	2024,46	22,33	38,57
	L2	2672,66		
	L3	2671,41		
	L4	3614,15		
	L5	3884,70		
	L6	4163,94		
	L7	4025,03		
	L8	3715,53		
	L9	3444,54		
	L10	2750,23		
	L11	2179,89		
	L12	2744,60		
	L1	14825,12	307,06	83,19
	L2	40558,81		
	L3	30051,00		
	L4	12418,26		
	L5	27384,33		
	L6	24515,34		
	L7	16096,96		
	L8	32937,43		
	L9	27151,39		
	L10	8145,01		
	L11	22255,62		
	L12	22510,57		

b. Arah Pembebanan 45° - 75° - 105°

Pada simulasi *FLNG* dengan konfigurasi sistem tambat *Spread mooring* dengan konfigurasi *Spread* dan *Group* yang telah di modelkan pada *software Ariane* akan disimulasikan dengan analisis *time domain simulation*. Pada simulasi kali ini beban arus dari arah 45° , sedangkan beban gelombang datang dari arah 75° dan angin datang dari arah 105° . berikut ini adalah rangkuman dari nilai *tension* signifikan yang merupakan pengolahan data dengan metode stokastik .Tabel 4.23 berisi tentang besarnya *tension* signifikan pada setiap tali tambat pada konfigurasi *Spread* dan *Group* pada arah pembebanan 45° - 75° - 105° .

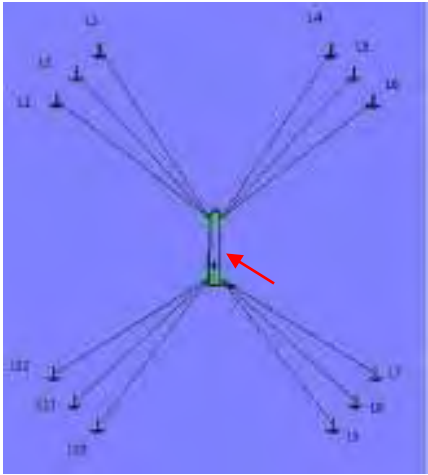
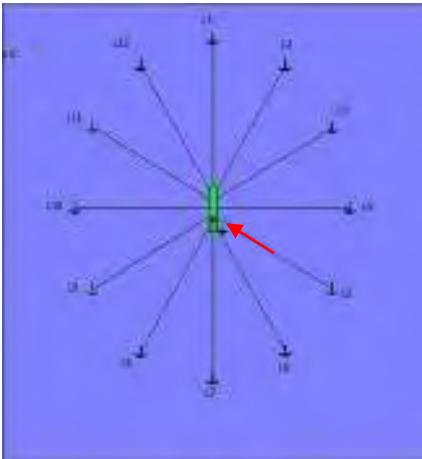
Tabel 4.23 Ringkasan *tension* signifikan pada tali tambat dan *offset* pada arah pembebanan 45° - 75° - 105° (L3)

Konfigurasi Mooring	Mooring Lines	Max Tension	Max Offset [m]	
		[kN]	x	y
	L1	2582,94	12,79	80,96
	L2	3488,41		
	L3	3163,47		
	L4	6380,80		
	L5	8369,14		
	L6	10269,73		
	L7	11104,46		
	L8	8226,13		
	L9	5688,29		
	L10	2817,04		
	L11	2957,15		
	L12	3096,01		
	L1	16671,32	322,56	146,68
	L2	34901,52		
	L3	52035,39		
	L4	32659,51		
	L5	42795,76		
	L6	29762,39		
	L7	17173,06		
	L8	26903,02		
	L9	34860,67		
	L10	22788,65		
	L11	25942,79		
	L12	22830,72		

c. Arah Pembebanan 90°-120°-150°

Pada simulasi kali ini beban arus dari arah 90°, sedangkan beban gelombang datang dari arah 120° dan angin datang dari arah 150°. Tabel 4.24 berisi tentang besarnya *tension* signifikan pada setiap tali tambat pada konfigurasi *Spread* dan *Group* pada arah pembebanan 90°-120°-150°

Tabel 4.24 Ringkasan *tension* signifikan pada tali tambat dan *offset* pada arah pembebanan 90°-120°-150° (L5)

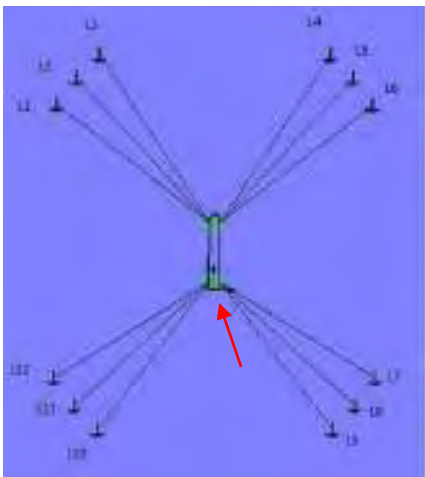
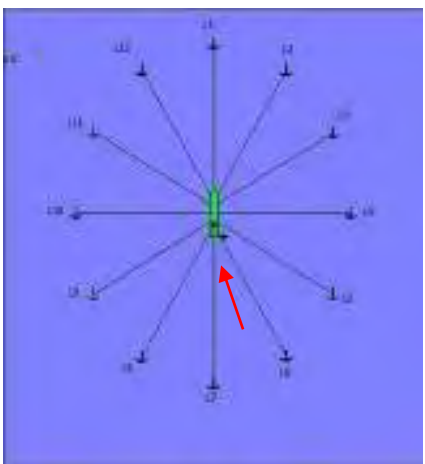
Konfigurasi Mooring	Mooring Lines	Max Tension	Max Offset [m]	
		[kN]	x	y
	L1	5522,92	26,85	78,44
	L2	11350,69		
	L3	13341,03		
	L4	20607,04		
	L5	19348,47		
	L6	17905,05		
	L7	11104,46		
	L8	19188,43		
	L9	19723,18		
	L10	13155,57		
	L11	10855,93		
	L12	8545,37		
	L1	13358,20	266,40	177,28
	L2	6920,96		
	L3	24718,64		
	L4	40336,28		
	L5	47190,29		
	L6	41278,49		
	L7	20300,48		
	L8	9182,70		
	L9	16864,16		
	L10	27100,90		
	L11	23024,36		
	L12	23308,85		

d. Arah Pembebanan 135°-165°-195°

Pada simulasi kali ini beban arus dari arah 135°, sedangkan beban gelombang datang dari arah 165° dan angin datang dari arah 195°. Tabel 4.25 berisi

tentang besarnya *tension* signifikan pada setiap tali tambat pada konfigurasi *Spread* dan *Group* pada arah pembebanan 135°-165°-195°

Tabel 4.25 Ringkasan *tension* signifikan pada tali tambat dan *offset* pada arah pembebanan 135°-165°-195° (L7)

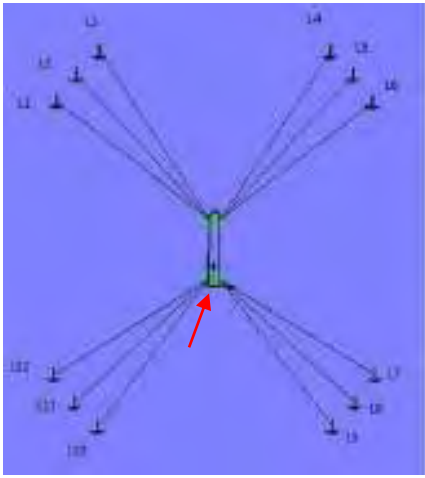
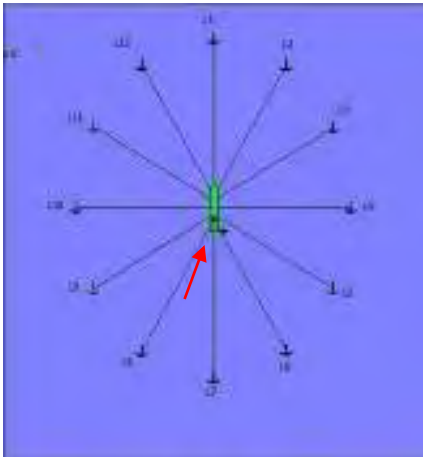
Konfigurasi Mooring	Mooring Lines	Max Tension	Max Offset [m]	
		[kN]	x	y
	L1	1958,91	26,85	78,44
	L2	2547,70		
	L3	2506,84		
	L4	3771,66		
	L5	4365,52		
	L6	5167,35		
	L7	6360,02		
	L8	5640,67		
	L9	5031,21		
	L10	2622,36		
	L11	2469,33		
	L12	2333,60		
	L1	36533,54	211,13	189,71
	L2	25610,20		
	L3	9708,62		
	L4	3176,34		
	L5	3957,63		
	L6	21386,82		
	L7	48969,83		
	L8	33725,23		
	L9	7254,70		
	L10	3896,95		
	L11	9038,31		
	L12	25514,24		

e. Arah Pembebanan 180°-210°-240°

Pada simulasi *FLNG* dengan konfigurasi sistem tambat *Spread mooring* dengan konfigurasi *Spread* dan *Group* yang telah di modelkan pada *software Ariane* akan disimulasikan dengan analisis *time domain simulation*. Pada simulasi kali ini beban arus dari arah 180°, sedangkan beban gelombang datang dari arah 210° dan angin datang dari arah 240°.berikut ini adalah rangkuman dari nilai *tension*

signifikan yang merupakan pengolahan data dengan metode stokastik hasil analisis *time domain simulation* yang dilakukan selama tiga jam pada *software Ariane* . Tabel 4.26 berisi tentang besarnya *tension* signifikan pada setiap tali tambat pada konfigurasi *Spread* dan *Group* pada arah pembebanan 45° - 75° - 105° .

Tabel 4.26 Ringkasan *tension* signifikan pada tali tambat dan *offset* pada arah pembebanan 180° - 210° - 240° (L8)

Konfigurasi Mooring	Mooring Lines	Max Tension	Max Offset [m]	
		[kN]	x	y
	L1	2726,00	40,80	53,78
	L2	3665,11		
	L3	3442,07		
	L4	2277,87		
	L5	2252,92		
	L6	2299,80		
	L7	2800,72		
	L8	3053,51		
	L9	3344,64		
	L10	4627,21		
	L11	4639,22		
	L12	4826,14		
	L1	11054,84	271,62	148,14
	L2	22483,35		
	L3	15437,72		
	L4	8200,71		
	L5	19491,28		
	L6	28134,54		
	L7	19754,38		
	L8	30898,23		
	L9	15581,60		
	L10	5085,31		
	L11	8365,67		
	L12	13270,97		

Tabel – tabel diatas merupakan ringkasan dari hasil simulasi *time domain* dengan arah pembebanan *non-collinear* dengan arah datang dari masing – masing beban yakni angin, gelombang, dan arus akan berbeda $+30^{\circ}$ yang dilakukan selama tiga jam pada *software Ariane*, *Ariane* melakukan perhitungan terhadap besarnya

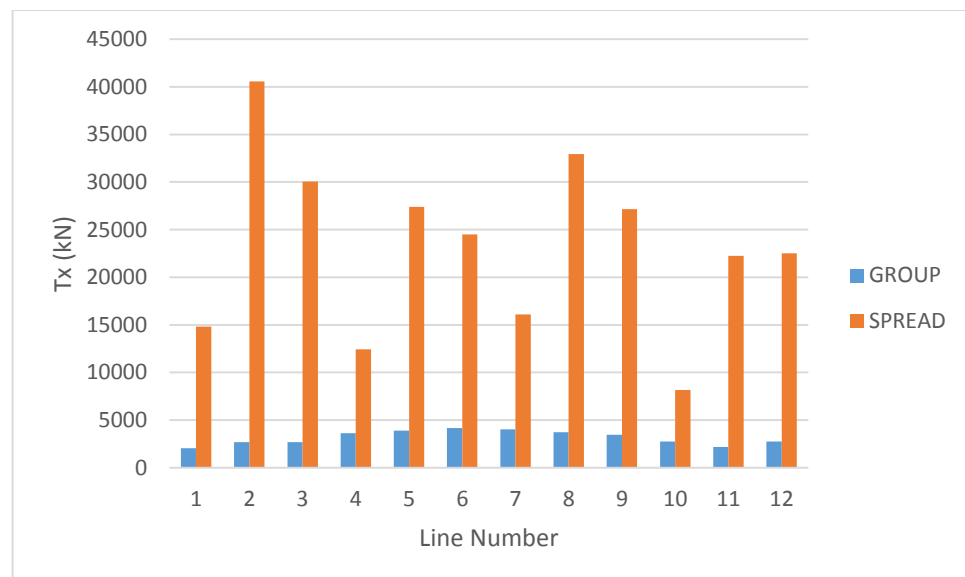
gaya pada kapal, pergerakan kapal, besarnya beban pada tali tambat, yang dihitung pada interval 0,1 detik. *Output* dari simulasi tersebut tidak bisa langsung digunakan sebagai kesimpulan dari simulasi. Data – data tersebut perlu diolah untuk mendapatkan nilai rata – rata dan signifikan *tension* yang terjadi pada setiap tali tambat dan juga *offset* dari kapal.

Untuk memudahkan dalam melihat hasil *output tension* signifikan beserta *offset* yang dihasilkan dan melihat bagaimana persebaran *tension* yang terjadi di setiap tali pada kedua konfigurasi, dapat dilihat dalam pembahasan dibawah ini.

a. Arah Pembebanan 0°- 30°- 60°

Berdasarkan hasil pengolahan *time history data* yang berisi tentang besarnya *tension* yang terjadi serta posisi pada kapal di setiap detiknya, maka berikut adalah pembahasan tentang nilai *tension* signifikan dan *offset* signifikan yang terjadi pada arah pembebanan 0°-30°-60°. Gambar 4.46 menampilkan perbandingan *tension* signifikan pada setiap tali tambat pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 0°-30°-60°. Gambar 4.47 menampilkan perbandingan *offset* signifikan *FLNG* pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 0°-30°-60°.

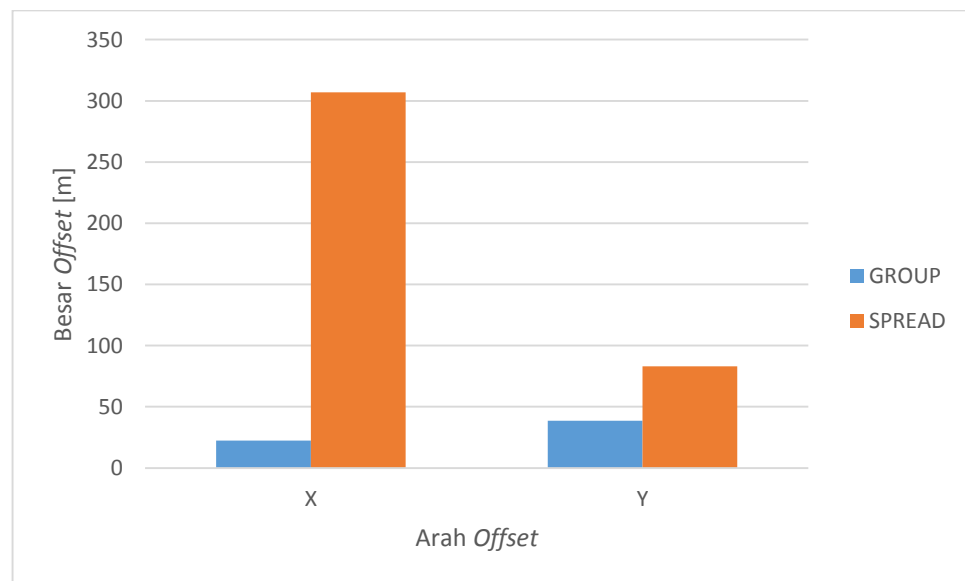
- *Tension* Signifikan pada Tali



Gambar 4.46 *Tension* signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 0° -30° -60°

Pada arah pembebanan 0° - 30° - 60° , *tension* signifikan terbesar terjadi pada konfigurasi *Spread* pada tali nomer 2 sebesar 40558,80 kN, sedangkan pada konfigurasi *Group tension* signifikan tertinggi terjadi pada tali nomer 6 sebesar 4163,94 kN, pada arah pembebanan 0° - 30° - 60° konfigurasi *Group* memiliki *tension* signifikan yang jauh lebih kecil dari pada konfigurasi *Spread* pada setiap tali tambat.

- *Offset* Signifikan



Gambar 4.47 *Offset* signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 0° - 30° - 60°

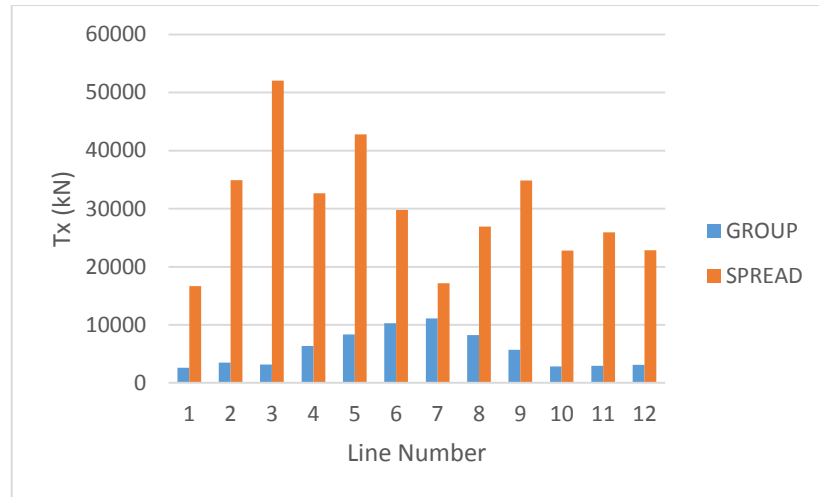
Dari diagram diatas dapat dilihat bahwa *offset* terbesar terjadi pada arah sumbu x pada konfigurasi *Spread* sebesar 307,06 m, sedangkan *offset* terbesar yang terjadi pada konfigurasi *Group* adalah 38,56 m pada arah sumbu y. Dari diagram diatas, pada arah pembebanan 0° - 30° - 60° konfigurasi *Group* memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Spread*.

b. Arah Pembebanan 45° - 75° - 105°

Berdasarkan hasil pengolahan *time history data* yang berisi tentang besarnya *tension* yang terjadi serta posisi pada kapal di setiap detik, maka berikut adalah pembahasan tentang nilai *tension* signifikan dan *offset* maksimum yang terjadi pada arah pembebanan 45° - 75° - 105° . Gambar 4.48 menampilkan

perbandingan *tension* signifikan pada setiap tali tambat pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 45° - 75° - 105° . Gambar 4.49 menampilkan perbandingan *offset* signifikan *FLNG* pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 45° - 75° - 105° .

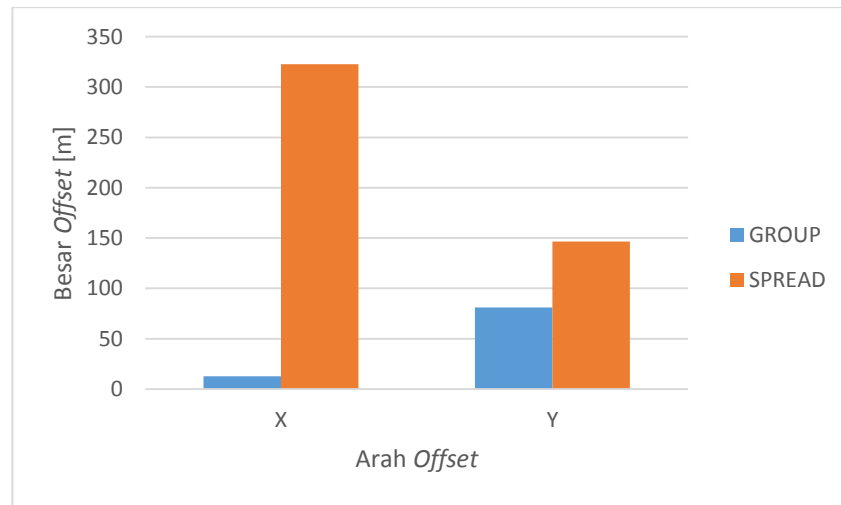
- *Tension* Signifikan pada Tali



Gambar 4.48 *Tension* signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 45° - 75° - 105°

Pada arah pembebanan 45° - 75° - 105° , *tension* signifikan terbesar terjadi pada konfigurasi *Spread* pada tali nomor 3 sebesar 52035,39 kN, sedangkan pada konfigurasi *Group*, *tension* signifikan tertinggi terjadi pada tali nomor 7 sebesar 11104,07 kN, pada arah pembebanan 45° - 75° - 105° konfigurasi *Group* memiliki *tension* signifikan yang jauh lebih kecil dari pada konfigurasi *Spread*. Pada arah pembebanan 45° - 75° - 105° , *tension* yang terjadi pada konfigurasi *Group* terkumpul pada tali tambat pada bagian sisi kanan (*starboard*) dari *FLNG*, sedangkan *tension* yang terjadi pada konfigurasi *Spread* memiliki nilai yang fluktuatif terhadap nomor tali pada konfigurasi tersebut, dapat dilihat pada Gambar 4.44 , bahwa tali tambat nomor 3 dan tali nomor 9 memiliki nilai *tension* yang paling besar dibandingkan dengan tali – tali yang lain pada konfigurasi *Spread* pada arah pembebanan 45° - 75° - 105° . Gambar 4.49 menampilkan perbandingan *offset* signifikan *FLNG* pada konfigurasi *Spread* dan *Group* pada arah sumbu x dan y untuk arah pembebanan 45° - 75° - 105° .

- *Offset* Signifikan



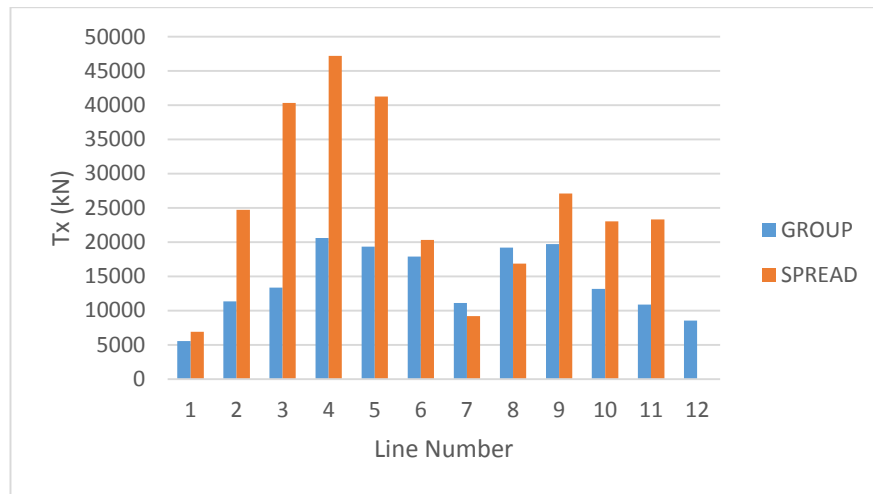
Gambar 4.49 *Offset* signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 45° - 75° - 105°

Dari diagram diatas dapat dilihat bahwa *offset* terbesar terjadi pada arah sumbu x pada konfigurasi *Spread* sebesar 322,56 m, sedangkan *offset* terbesar yang terjadi pada konfigurasi *Group* adalah 80,95 m pada arah sumbu y. Dari diagram diatas, pada arah pembebanan 45° - 75° - 105° konfigurasi *Group* memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Spread*.

c. Arah Pembebanan 90° - 120° - 150°

Berdasarkan hasil pengolahan *time history data* yang berisi tentang besarnya *tension* yang terjadi serta posisi pada kapal di setiap detiknya, maka berikut adalah pembahasan tentang nilai *tension* signifikan dan *offset* maksimum yang terjadi pada arah pembebanan 90° - 120° - 150° untuk konfigurasi *Spread* dan *Group*, besarnya nilai *tension* dan *offset* signifikan yang terdapat pada pembahasan kali ini adalah hasil pengolahan data metode stokastik dari nilai data *time series* yang didapatkan pada analisis *time domain simulation* . Gambar 4.50 menampilkan perbandingan *tension* signifikan pada setiap tali tambat pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 90° - 120° - 150° . Gambar 4.51 menampilkan perbandingan *offset* signifikan *FLNG* pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 90° - 120° - 150° .

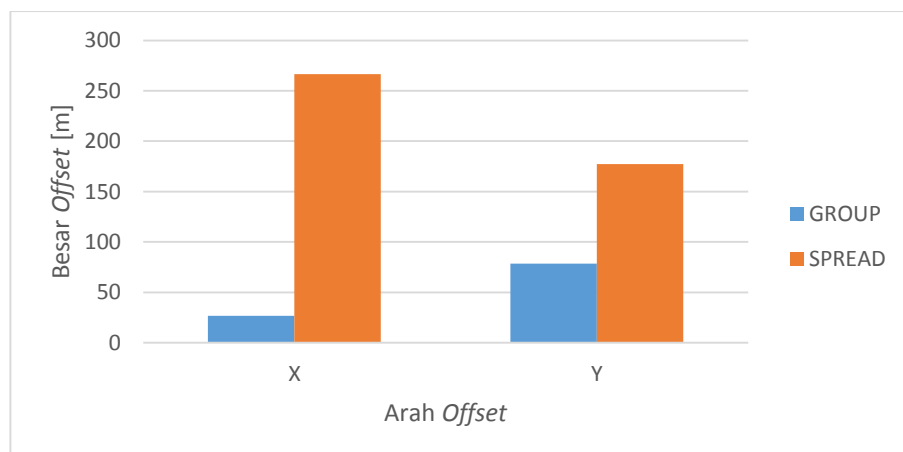
- *Tension* Signifikan pada Tali



Gambar 4.50 *Tension* signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 90°-120°-150°

Pada arah pembebanan 90°-120°-150° , *tension* signifikan terbesar terjadi pada konfigurasi *Spread* pada tali nomer 4 sebesar 47190,28 kN, sedangkan pada konfigurasi *Group* *tension* signifikan tertinggi terjadi pada tali nomer 4 sebesar 20607,03 kN, pada arah pembebanan 90°-120°-150° konfigurasi *Group* memiliki *tension* signifikan yang jauh lebih kecil dari pada konfigurasi *Spread* pada setiap taliambat.

- *Offset* Signifikan



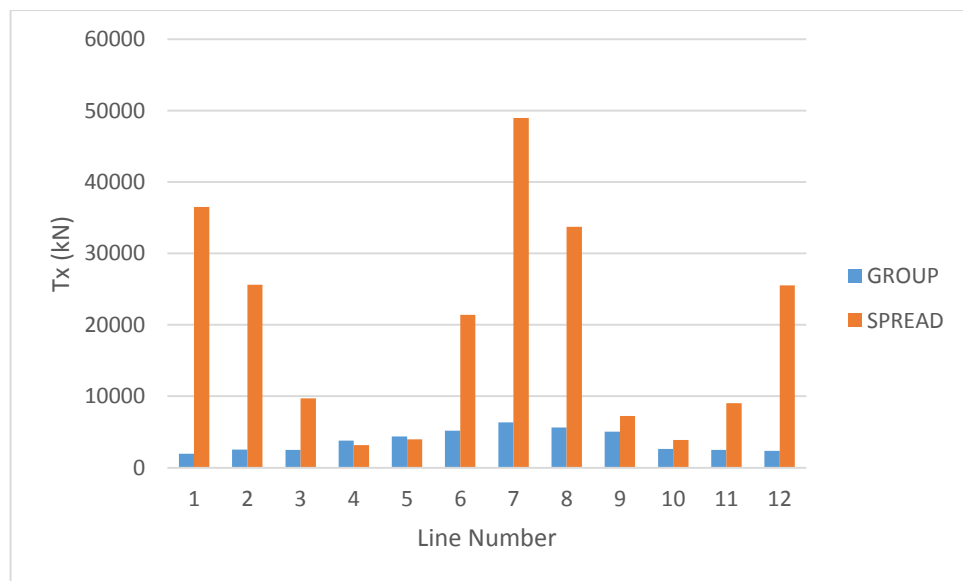
Gambar 4.51 *Offset* signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 90°-120°-150°

Dari diagram diatas dapat dilihat bahwa *offset* terbesar terjadi pada arah sumbu x pada konfigurasi *Spread* sebesar 266,40 m, sedangkan *offset* terbesar yang terjadi pada konfigurasi *Group* adalah 78,44 m pada arah sumbu y. Dari diagram diatas, pada arah pembebanan 90°-120°-150° konfigurasi *Group* memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Spread*.

d. Arah Pembebanan 135°-165°-195°

Berdasarkan hasil pengolahan *time history data* yang berisi tentang besarnya *tension* yang terjadi serta posisi pada kapal di setiap detiknya, maka berikut adalah pembahasan tentang nilai *tension* signifikan dan *offset* signifikan yang terjadi pada arah pembebanan 135° -165° -195°. Gambar 4.52 menampilkan perbandingan *tension* signifikan pada setiap tali tambat pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 135° -165° -195°. Gambar 4.53 menampilkan perbandingan *offset* signifikan *FLNG* pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 135° -165° -195°.

- *Tension* Signifikan pada Tali

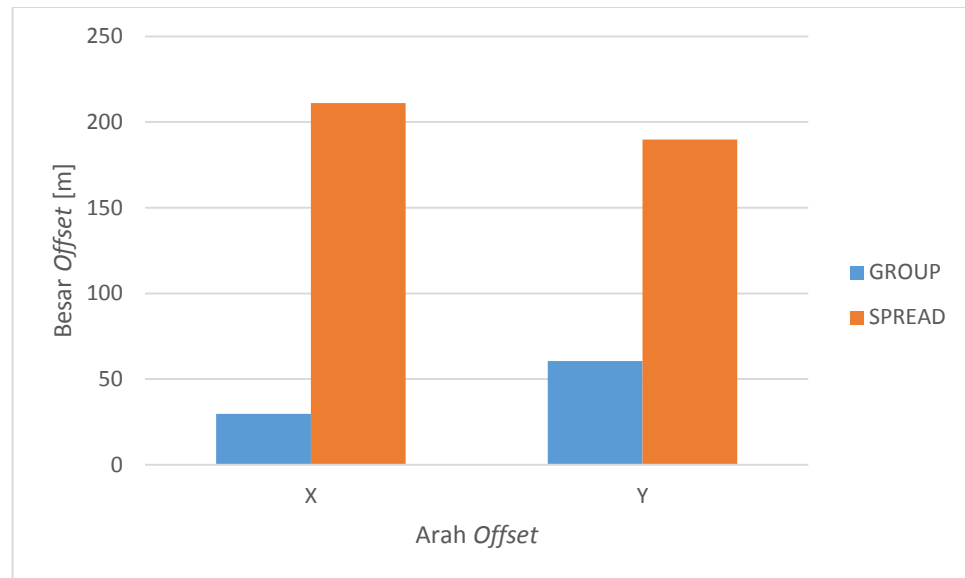


Gambar 4.52 *Tension* signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 135°-165°-195°

Pada arah pembebanan 135°-165°-195° , *tension* signifikan terbesar terjadi pada konfigurasi *Spread* pada tali nomer 7 sebesar 48969,83 kN, sedangkan pada konfigurasi *Group* *tension* signifikan tertinggi terjadi pada tali nomer 7 sebesar

6360,02 kN, pada arah pembebanan 135°-165°-195° konfigurasi *Group* memiliki *tension* signifikan yang jauh lebih kecil dari pada konfigurasi *Spread* pada setiap taliambat.

- *Offset* Signifikan



Gambar 4.53 *Offset* signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 135°-165°-195°

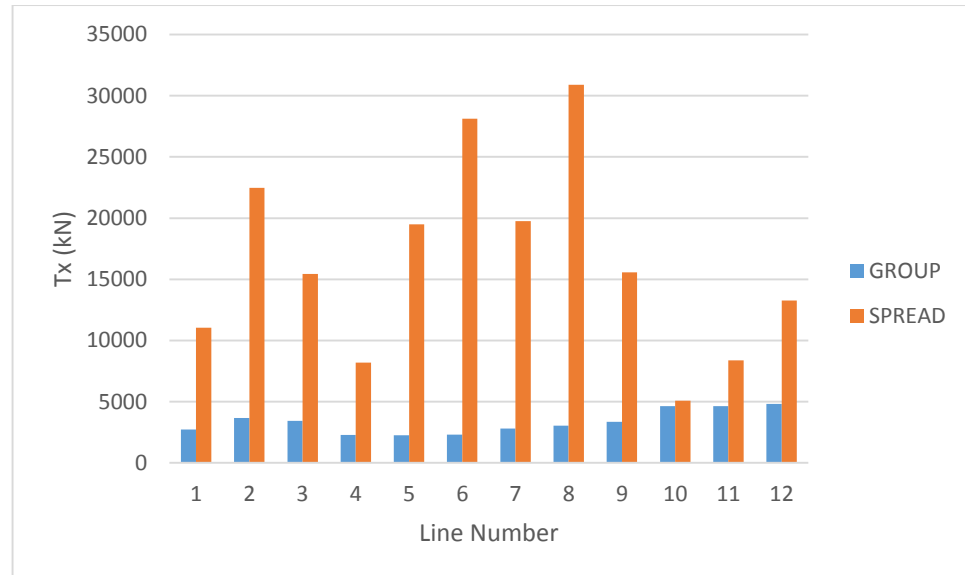
Dari diagram diatas dapat dilihat bahwa *offset* terbesar terjadi pada arah sumbu x pada konfigurasi *Spread* sebesar 211,12 m, sedangkan *offset* terbesar yang terjadi pada konfigurasi *Group* adalah 60,51 m pada arah sumbu y. Dari diagram diatas, pada arah pembebanan 135°-165°-195° konfigurasi *Group* memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Spread*.

e. Arah Pembebanan 180°-210°-240°

Berdasarkan hasil pengolahan *time history data* yang berisi tentang besarnya *tension* yang terjadi serta posisi pada kapal di setiap detiknya, maka berikut adalah pembahasan tentang nilai *tension* signifikan dan *offset* signifikan yang terjadi pada arah pembebanan 180° - 210 - 240° untuk konfigurasi *Spread* dan *Group*, besarnya nilai *tension* dan *offset* signifikan yang terdapat pada pembahasan kali ini adalah hasil pengolahan data metode stokastik dari nilai data *time series* yang didapatkan pada analisis *time domain simulation* . Gambar 4.54 menampilkan

perbandingan *tension* signifikan pada setiap tali tambat pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 180° - 210 - 240°. Gambar 4.55 menampilkan perbandingan *offset* signifikan *FLNG* pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 180° - 210 - 240°.

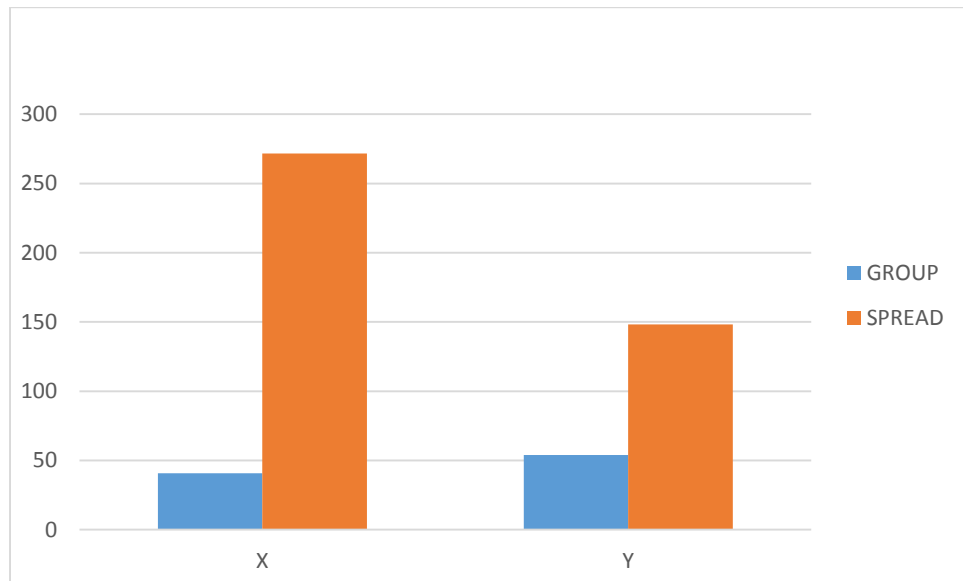
- *Tension* Signifikan pada Tali



Gambar 4.54 *Tension* signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 180°-210°-240°

Pada arah pembebanan 180°-210°-240°, *tension* signifikan terbesar terjadi pada konfigurasi *Spread* pada tali nomer 8 sebesar 30898,22 kN, sedangkan pada konfigurasi *Group*, *tension* signifikan tertinggi terjadi pada tali nomer 12 sebesar 4826,14 kN, pada arah pembebanan 180°-210°-240° konfigurasi *Group* memiliki *tension* signifikan yang jauh lebih kecil dari pada konfigurasi *Spread* pada setiap tali tambat. Berdasarkan pada diagram yang terdapat pada Gambar 4.54, kita dapat melihat bahwa pada arah pembebanan 180°-210°-240°, *tension* signifikan terbesar tali tambat pada konfigurasi *Spread* memiliki nilai yang fluktuatif, sedangkan untuk nilai *tension* signifikan terbesar pada konfigurasi *Group* terdapat pada tali di bagian buritan sebelah kanan *FLNG* (*stern portside*)

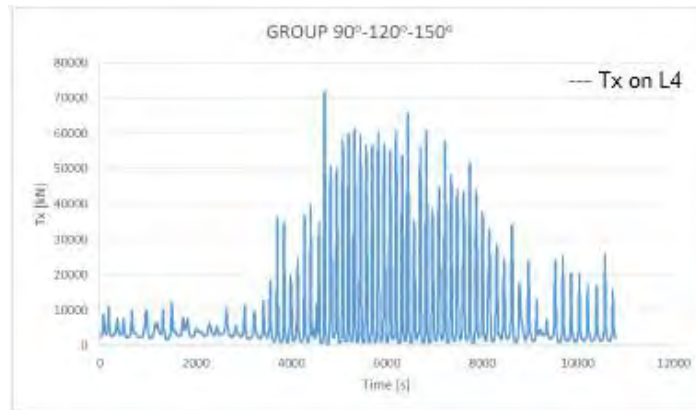
- *Offset* Signifikan



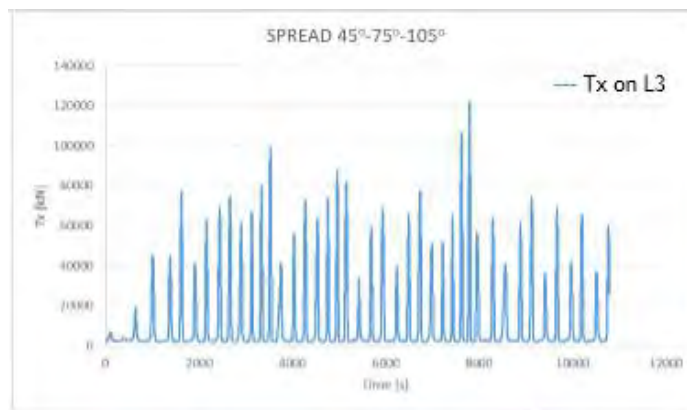
Gambar 4.55 *Offset* signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk arah pembebanan 180°-210°-240°

Dari diagram diatas dapat dilihat bahwa *offset* terbesar terjadi pada arah sumbu x pada konfigurasi *Spread* sebesar 271,61 m, sedangkan *offset* terbesar yang terjadi pada konfigurasi *Group* adalah 53,78 m pada arah sumbu y. Dari diagram diatas, pada arah pembebanan 180°-210°-240° konfigurasi *Group* memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Spread*.

Data – data pada Tabel 4.22 – 4.26 merupakan *tension* signifikan hasil pengolahan data *time series* dari simulasi *time domain* untuk kondisi pembebanan *non-collinear II* . Pada pembebanan kondisi *non-collinear II* menunjukkan bahwa konfigurasi *Spread* dan *Group* menghasilkan nilai *tension* signifikan tertinggi yang berbeda – beda pada setiap arah pembebanan, untuk konfigurasi *Spread*, hasil *tension* signifikan terbesar terjadi pada tali tambat nomor 3 untuk arah pembebanan 45°-75°-105°, sedangkan untuk konfigurasi *Group* nilai *tension* signifikan terbesar terjadi pada tali tambat nomor 4 untuk arah pembebanan 90°-120°-150° .Gambar 4.56 – 4.57 menunjukkan data *tension time series* terbesar hasil simulasi *time domain* untuk kondisi pembebanan *non-collinear II* .



Gambar 4.56 *Tension* pada L4 pada konfigurasi *Group* pada arah pembebanan 90°-120°-150°



Gambar 4.57 *Tension* pada L3 pada konfigurasi *Spread* pada arah pembebanan 45°-75°-105°

Setelah mengetahui nilai *tension* signifikan untuk setiap arah pembebanan terhadap kedua konfigurasi *mooring*, berikut adalah ringkasan *tension* signifikan beserta konfigurasinya pada setiap arah pembebanan *non-collinear II*.

Tabel 4.27 Ringkasan *tension* signifikan pada tali tambat kondisi pembebanan *non-collinear II*

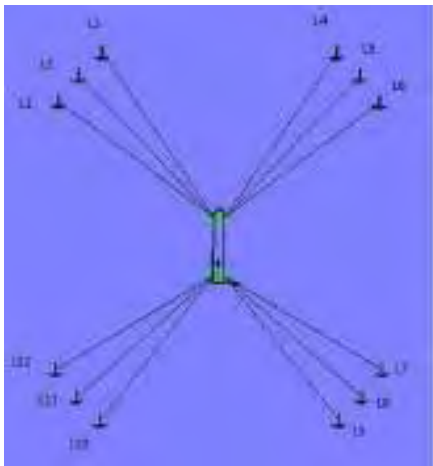
Arah Pembebanan	Max Tension [kN]	Max Offset [m]		Konfigurasi	Lines
		x	y		
0-30-60	40558,80	307,06	83,19	SPREAD	L2
45-75-105	52035,39	322,56	146,68	SPREAD	L3
90-120-150	47190,28	266,40	177,28	SPREAD	L5
135-165-195	48969,83	211,13	189,71	SPREAD	L7
180-210-240	30898,22	271,62	148,14	SPREAD	L8

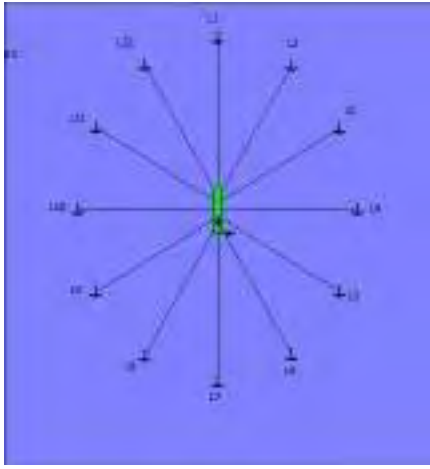
Dari tabel diatas dapat kita ketahui bahwa konfigurasi *Spread* mengalami *tension* yang lebih besar dibandingkan dengan konfigurasi *Group* pada pembebanan kondisi *non-collinear II*.

4.6.4. Komparasi Tension dan Offset FLNG Masela Pada Kondisi Ballast

Setelah mengetahui bagaimana *tension* dan *offset* yang terjadi pada *FLNG* Masela pada arah pembebanan *collinear* dan *non-collinear* pada kondisi *full load*, pembahasan kali ini akan membandingkan bagaimana *tension* dan *offset* yang terjadi pada *FLNG* Masela pada kondisi *ballast*, perbandingan ini dilakukan dengan analisis *time domain simulation* pada *software Ariane*, dengan memberikan beban lingkungan dengan arah pembebanan yang menghasilkan nilai *tension* dan *offset* yang paling besar dari kondisi pembebanan *collinear*, *non-colliner I* dan, *non-collinear II*, dari ke tiga kondisi pembebanan tersebut, arah pembebanan *collinear* diketahui menghasilkan nilai *tension* dan *offset* signifikan yang paling besar dibandingkan dengan arah – arah pembebanan lain lain. Tabel 4.28 berisi tentang besarnya *tension* signifikan pada setiap tali tambat pada konfigurasi *Spread* dan *Group* pada arah pembebanan 90° pada *FLNG* dengan kondisi *ballast*.

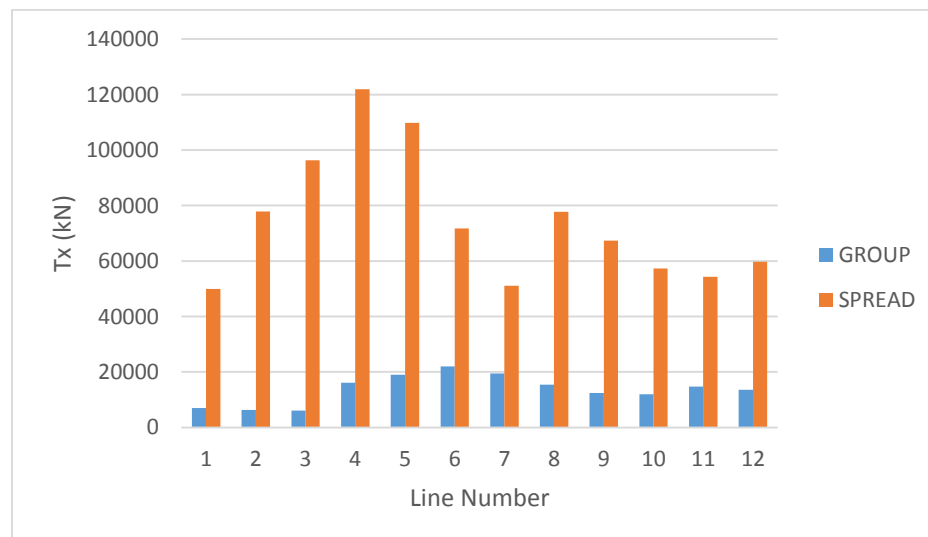
Tabel 4.28 Ringkasan *tension* signifikan pada tali dan *offset* pada arah pembebanan 90° pada *FLNG* kondisi *ballast* (L4)

Konfigurasi Mooring	Mooring Lines	Max Tension	Max Offset [m]	
		[kN]	x	y
	L1	7012,63	42,55	111,64
	L2	6263,21		
	L3	6132,36		
	L4	16100,88		
	L5	19029,20		
	L6	22057,35		
	L7	19524,48		
	L8	15465,98		
	L9	12407,31		
	L10	11958,19		
	L11	14736,65		
	L12	13546,84		

Konfigurasi Mooring	Mooring Lines	Max Tension	Max Offset [m]	
		[kN]	x	y
	L1	49880,90	195,2	380,74
	L2	77888,86		
	L3	96376,73		
	L4	121954,14		
	L5	109805,05		
	L6	71740,64		
	L7	51033,75		
	L8	77781,83		
	L9	67411,78		
	L10	57335,91		
	L11	54308,94		
	L12	59792,14		

Tabel 4.28 merupakan besarnya *tension* dan *offset* signifikan yang terjadi pada *FLNG* kondisi *ballast* dengan arah pembebanan 90°. Untuk memudahkan dalam melihat hasil *tension* beserta *offset* signifikan yang dihasilkan pada *FLNG* kondisi *ballast* dengan arah pembebanan 90°. Gambar 4.58 dan Gambar 4.59 berisi perbandingan *tension* dan *offset* yang terjadi untuk konfigurasi *Spread* dan *Group* pada *FLNG* Masela.

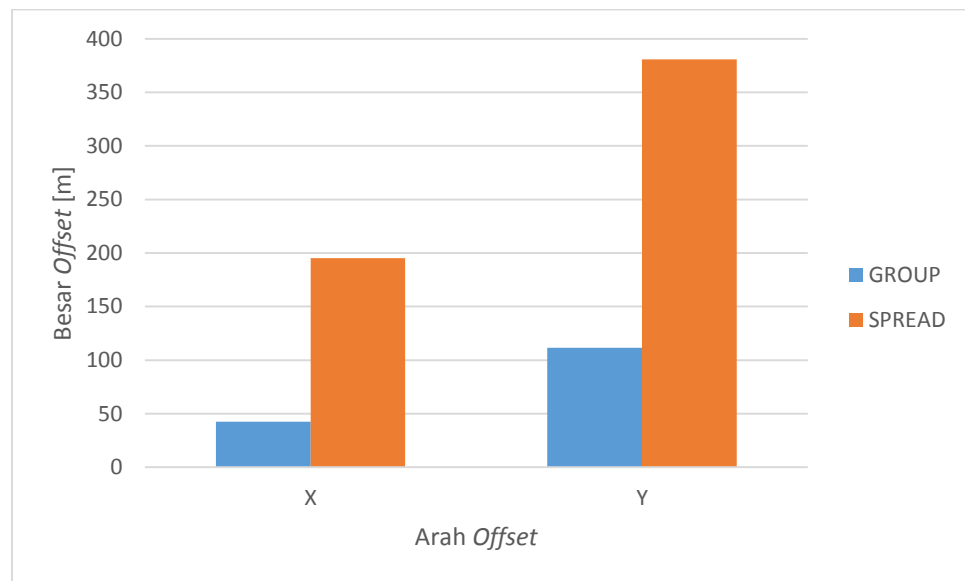
- *Tension* Sifnifikan pada Tali



Gambar 4.58 *Tension* signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* yang dihasilkan pada *FLNG* kondisi *ballast* untuk arah pembebanan 90°

Pada simulasi *time domain FLNG* Masela kondisi *ballast* dengan arah pembebanan 90° , *tension* signifikan terbesar terjadi pada konfigurasi *Spread* pada tali nomer 4 sebesar 121954,14 kN, sedangkan pada konfigurasi *Group tension* signifikan tertinggi terjadi pada tali nomer 7 sebesar 22057,35 kN, pada simulasi *time domain FLNG* Masela kondisi *ballast* dengan arah pembebanan 90° konfigurasi *Group* memiliki *tension* signifikan yang jauh lebih kecil dari pada konfigurasi *Spread* pada setiap tali tambat.

- Offset Signifikan



Gambar 4.59 Offset signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* yang dihasilkan pada *FLNG* kondisi *ballast* untuk arah pembebanan 90°

Dari diagram diatas dapat dilihat bahwa *offset* terbesar terjadi pada arah sumbu y pada konfigurasi *Spread* sebesar 380,74 m, sedangkan *offset* terbesar yang terjadi pada konfigurasi *Group* adalah 111,64 m pada arah sumbu y. Dari diagram diatas, pada simulasi *time domain FLNG* Masela kondisi *ballast* dengan arah pembebanan 90° konfigurasi *Group* memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Spread*.

4.6.5. Analisis Hasil Tension dan Offset Signifikan Terbesar Kondisi Pembebanan Collinear, Non-Collinear I dan, Non-Collinear II

Setelah mendapatkan hasil *tension* dan *offset* terbesar pada konfigurasi *Spread* dan *Group* pada kondisi pembebanan *collinear*, *non-collinear I* dan, *non-collinear II*, Tabel 4.29 berisi tentang perbandingan besarnya *tension* dan *offset* signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* pada kondisi pembebanan *collinear*, *non-collinear I* dan, *non-collinear II*.

Tabel 4.29 Perbandingan besarnya *tension* dan *offset* signifikan terbesar pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk kondisi pembebanan *collinear*, *non-collinear I* dan, *non-collinear II*.

	Arah Pembebanan			Max Tension [kN]				Max Offset [m]			
	Current	Wave	Wind	Spread		Group		Spread		Group	
								x	y	x	y
Collinear	0	0	0	L1	4179,86	L3	3398,27	36,88	0,31	69,1	0,03
	45	45	45	L3	43549,36	L7	13130,78	286,57	139,53	33,22	104,42
	90	90	90	L4	62221,5	L7	16783,95	150,88	342,65	49,83	156,62
	135	135	135	L5	43236,57	L7	15657,47	297,73	163,81	32,27	89,69
	180	180	180	L7	23673,01	L10	5297,69	91,91	6,86	66,39	2,29
Non-Collinear I	0	30	30	L2	17947,99	L7	3208,41	184,44	107,99	27,18	25,69
	45	75	75	L3	55063,89	L7	12569,46	322,74	130,89	32,11	90,04
	90	120	120	L5	54155,63	L7	15657,47	302,62	182,24	32,27	89,69
	135	165	165	L7	40167,21	L7	7355,55	228,25	180,86	36,4	63,92
	180	210	210	L8	21207,09	L10	4484,7	147,25	141,73	45,74	41,68
Non-Collinear II	0	30	60	L2	40558,81	L6	4163,94	307,06	83,19	22,33	38,57
	45	75	105	L3	52035,39	L7	11104,46	322,56	146,68	12,79	80,96
	90	120	150	L5	47190,29	L4	20607,04	266,4	177,28	26,85	78,44
	135	165	195	L7	48969,83	L7	6360,02	211,13	189,71	29,7	60,51
	180	210	240	L8	30898,23	L12	4826,14	271,62	148,14	40,8	53,78

Dapat dilihat pada Tabel 4.29 bahwa *tension* signifikan yang terbesar terjadi pada tali tambat untuk kondisi pembebanan *collinear*, *non-collinear I* dan, *non-collinear II* sebesar 62221,50 kN yang terjadi pada tali tambat nomor 4 dengan konfigurasi *Spread* untuk arah pembebanan *collinear* 90°.

Sedangkan untuk kondisi pembebanan *non collinear I* dimana arah datang dari angin dan gelombang akan membentuk sudut sebesar +30° dari arah datang arus, *tension* signifikan terbesar bernilai 55063,89 kN yang terjadi pada tali tambat

nomor 3 dengan konfigurasi *Spread* untuk arah beban arus dari arah 45° , dan beban gelombang, dan angin datang dari arah 75° .

Tension signifikan terbesar untuk kondisi pembebanan *non collinear II* dimana arah datang dari arus, angin dan, gelombang akan membentuk sudut sebesar $+30^\circ$ terjadi pada tali tambat nomor 3 pada konfigurasi *Spread* yang di berikan beban lingkungan dengan arah datang arus 45° , gelombang 75° dan, arah datang angin dari 105° .

Untuk nilai *offset* terbesar yang terjadi pada konfigurasi *Spread* dan *Group* pada arah pembebanan kondisi *collinear*, *non-collinear I* dan, *non-collinear II*, terjadi pada arah pembebanan kondisi *collinear* 90° yang terjadi pada konfigurasi *Spread*, *offset* yang terjadi sebesar 342,65 m terhadap sumbu y.

Sedangkan untuk kondisi pembebanan *non collinear I* dimana arah datang dari angin dan gelombang akan membentuk sudut sebesar $+30^\circ$ dari arah datang arus, *offset* signifikan terbesar bernilai 322,74 m pada arah sumbu x yang terjadi pada konfigurasi *Spread* untuk arah beban arus dari arah 45° , dan beban gelombang, dan angin datang dari arah 75° .

Offset signifikan terbesar untuk kondisi pembebanan *non collinear II* dimana arah datang dari arus, angin dan, gelombang akan membentuk sudut sebesar $+30^\circ$ terjadi pada konfigurasi *Spread* dengan *offset* sebesar 322,56 m pada arah sumbu x, yang terjadi pada arah beban lingkungan dengan datang arus 45° , gelombang 75° dan, arah datang angin dari 105° .

Dapat di lihat pada Tabel 4.29 bahwa dari setiap arah pembebanan kondisi *collinear*, *non-collinear I* dan, *non-collinear II*, konfigurasi *Spread* menghasilkan *tension* yang lebih besar bila dibandingkan dengan konfigurasi *Group*.

4.6.6. Analisis Hasil *Tension* dan *Offset* FLNG Masela Pada Kondisi *Ballast*

Setelah mendapatkan hasil *tension* dan *offset* terbesar pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk kondisi *ballast* dengan arah pembebanan *collinear* 90° . Hasil tersebut kemudian akan dibandingkan pada Tabel 4.30 dengan hasil *tension*

dan *offset* terbesar pada konfigurasi *Spread* dan *Group* untuk kondisi *full load* dengan arah pembebanan yang sama.

Tabel 4.30 Perbandingan besar *tension* dan *offset* signifikan pada konfigurasi *Spread* dan *Group* pada kondisi *full load* dan *ballast* dengan arah pembebanan *collinear 90°*

Lines	Configuration	Max Tension [kN]		Difference Percentage	Configuration	Max Tension [kN]		Difference Percentage
		Full Load	Ballast			Full Load	Ballast	
L1	SPREAD	26253,11	49880,91	190%	GROUP	4430,69	7012,63	158%
L2		45816,98	77888,86	170%		3779,14	6263,21	166%
L3		47013,04	96376,73	205%		3210,70	6132,36	191%
L4		62221,50	121954,14	196%		8335,15	16100,88	193%
L5		54629,38	109805,06	201%		12221,99	19029,20	156%
L6		42200,38	71740,64	170%		16009,05	22057,35	138%
L7		27887,30	51033,76	183%		16783,95	19524,48	116%
L8		37038,97	77781,83	210%		12471,63	15465,98	124%
L9		42397,35	67411,79	159%		8192,26	12407,31	151%
L10		29342,32	57335,92	195%		3181,28	11958,19	376%
L11		33527,55	54308,94	162%		3635,24	14736,65	405%
L12		31871,69	59792,14	188%		4089,43	13546,84	331%

Dari Tabel 4.30 dapat dilihat bahwa *FLNG* kondisi *ballast* menghasilkan besar *tension* yang lebih besar pada setiap tali tambat bila dibandingkan dengan kondisi *full load*. Konfigurasi *Spread* kenaikan *tension* pada tali tambat hingga 210% yang terjadi pada tali tambat nomor 8, sedangkan nilai rata-rata kenaikan *tension* tali tambat pada kondisi *ballast* untuk konfigurasi *Spread* adalah 186%.

Kenaikan *tension* tali tambat terbesar pada kondisi *ballast* untuk konfigurasi *Group* bernilai 405% yang terjadi pada tali tambat nomer 11, sedangkan nilai rata – rata kenaikan *tension* pada kondisi *ballast* untuk konfigurasi *Group* adalah 209%.

LAMPIRAN A
(INPUT SOFTWARE)

1. Input Software Hydrostar

1.1 Pemodelan FLNG Masela pada Software Hydrostar

Format 4			34.431	13.865	0
410	70	56	34.889	15	0
			34.889	36	0
-45	7				
0	6	0			
8	6	0	-40	7	
8	14.7	0	0	6	0
28.4	14.7	0	8	6	0
29.531	15.618	0	8	13.069	0
30	16.3	0	33.4	13.069	0
30	36	0	34.531	13.538	0
			35	14.465	0
			35	36	0
-44	7				
0	6	0			
8	6	0	-35	7	
8	14.376	0	0	6	0
31.398	14.376	0	8	6	0
27.53	14.845	0	8	11.44	0
32.998	15.976	0	33.426	11.44	0
32.998	36	0	34.77	12.226	0
			35	13.013	0
			35	36	0
-43	7				
0	6	0			
8	6	0	-30	7	
8	14.049	0	0	6	0
32.398	14.049	0	8	6	0
33.529	14.518	0	8	9.805	0
33.998	15.649	0	33.451	9.805	0
33.998	36	0	34.778	10.591	0
			35	11.337	0
			35	36	0
-42	7				
0	6	0			
8	6	0	-25	7	
8	13.723	0	0	6	0
32.982	13.723	0	8	6	0
34.114	14.192	0	8	8.166	0
34.582	15.323	0	33.414	8.166	0
34.582	36	0	34.779	8.959	0
			35	9.476	0
			35	36	0
-41	7				
0	6	0			
8	6	0	-20	7	
8	13.396	0	0	0	0
33.229	13.396	0	8	0	0

8	6.533	0
33.425	6.533	0
34.777	7.319	0
35	8.106	0
35	36	0

-15	7	
0	0	0
8	0	0
8	4.907	0
33.339	4.907	0
34.784	5.712	0
35	6.512	0
35	36	0

-10	7	
0	0	0
8	0	0
8	3.271	0
33.4	3.271	0
34.785	4.075	0
35	4.875	0
35	36	0

-5	7	
0	0	0
8	0	0
8	1.638	0
33.4	1.638	0
34.531	2.11	0
35	3.242	0
35	36	0

0	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

5	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

10	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

20	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

30	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

40	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

50	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

60	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

70	5	
0	0	0

33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

80	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

90	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

100	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

110	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

120	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

130	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0

35	36	0
----	----	---

140	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

150	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

160	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

170	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

180	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

190	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

200	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

210	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

220	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

230	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

240	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

250	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

260	5	
0	0	0
33.4	0	0

34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

270	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

280	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

290	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

300	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

310	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

320	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

325	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

330	8	
0	0	0
27.515	0	0
28.314	0.23	0
28.612	0.461	0
34.548	6.379	0
34.895	6.941	0
35	7.485	0
35	36	0

335	8	
0	0	0
21.6	0	0
22.391	0.226	0
22.687	0.452	0
34.566	12.331	0
34.898	12.866	0
35	13.4	0
35	36	0

340	8	
0	0	0
15.684	0	0
16.474	0.225	0
16.772	0.452	0
34.549	18.229	0
34.879	18.735	0
35	19.24	0
35	36	0

345	8	
0	0	0
9.768	0	0
10.561	0.226	0
10.856	0.452	0
34.531	24.127	0
34.896	24.693	0
35	25.258	0
35	36	0

350	8	
0	0.4381	0
8.597	0.4381	0
9.209	4.502	0
9.728	4.849	0
29.029	24.151	0
29.38	24.708	0
29.48	25.264	0
29.48	36	0

355	8	
0	8.761	0
7.452	8.761	0
8.064	8.882	0
8.583	9.229	0
23.487	24.133	0
23.851	24.698	0
23.955	25.264	0
23.955	36	0

360	8	
0	13.142	0
6.308	13.142	0
6.921	13.263	0
7.44	13.61	0
17.962	24.133	0
18.326	24.698	0
18.43	25.264	0
18.43	36	0

365	8	
0	17.885	0
5.524	17.885	0
6.137	18.006	0
6.656	18.353	0
12.431	24.13	0
12.777	24.65	0
12.899	25.264	0
12.899	36	0

1.2 Input Hydrostar Meshing

```
test
HULF
4
test.hul
IXDEF
1
TYPEF
2
330
TYPA
21
45
DRAUGHT
15.5
MPAR
100 25
ABOVE
36
ENDMR
```

1.3 Input Hydrostar RDF

```
FILENAME masela

FREQUENCES      TYPE  2
WMIN      0.1
WMAX      1.8
WSTP      0.1

ENDFREQUENCES

HEADINGS TYPE  2
HMIN  0.0
HMAX  180
HSTP  45.0
ENDHEADINGS

*NBFREQUENCY
*NBHEADING
WATERDEPTH      600

ENDFILE
```

1.4 Input Hydrostar MCN

```
FILENAME      masela

#MASS_BODY      1      4.24915E8
GYRADIUS_BODY   1      23.8 105 105 0.0 0.0 0.0
COGPOINT_BODY   1  158.89 0.0 9.99
```

```

LINVISCOUSDAMPING 1      5.0

WAVEAMPLITUDE      1.0

INERTIAL_MATRIX      TYPE 0
ENDINERTIAL_MATRIX

REFLENGTH          1.0
RHO                 1025.0
GRAVITY             9.81
REFWAVE             0.00   0.00
ZFSURFACE           0.00
HYDSWPLANE

DAMPING_MATRIX      TYPE 0
ENDDAMPING_MATRIX

```

1.5 Input Hydrostar RAO

GSURGE		BODY 1	FILE
	surge.rao		
GSWAY		BODY 1	FILE
	sway.rao		
GHEAVE		BODY 1	FILE
	heave.rao		
GROLL		BODY 1	FILE
	roll.rao		
GPITCH		BODY 1	FILE
	pitch.rao		
GYAW		BODY 1	FILE
	yaw.rao		
DRIFTX	FILE	DriftFx.rao	PRE
DRIFTY	FILE	DriftFy.rao	PRE
DRIFTZ	FILE	DriftFz.rao	PRE
DRIFTMX	FILE	DriftMx.rao	PRE
DRIFTMY	FILE	DriftMy.rao	PRE
DRIFTMZ	FILE	DriftMz.rao	PRE
DRIFTX	FILE	DriftFxFF.rao	MOM
DRIFTY	FILE	DriftFyFF.rao	MOM
DRIFTZ	FILE	DriftMzFF.rao	MOM
DRIFTX	FILE	DriftFxMF.rao	CSF
DRIFTY	FILE	DriftFyMF.rao	CSF
DRIFTMZ	FILE	DriftMzMF.rao	CSF
CM	FILE	AddedMass.dat	TERM 11 22 33 44 55
CA	FILE	Damping.dat	TERM 11 22 33 44 55
FXFIST	FILE	fxf1st.rao	
FYFIST	FILE	fyf1st.rao	
FZF1ST	FILE	fzf1st.rao	
MXF1ST	FILE	mxf1st.rao	
MYF1ST	FILE	myf1st.rao	
MZF1ST	FILE	mzf1st.rao	
ARIANE7N MOM FILE database.dat			
ENDFILE			

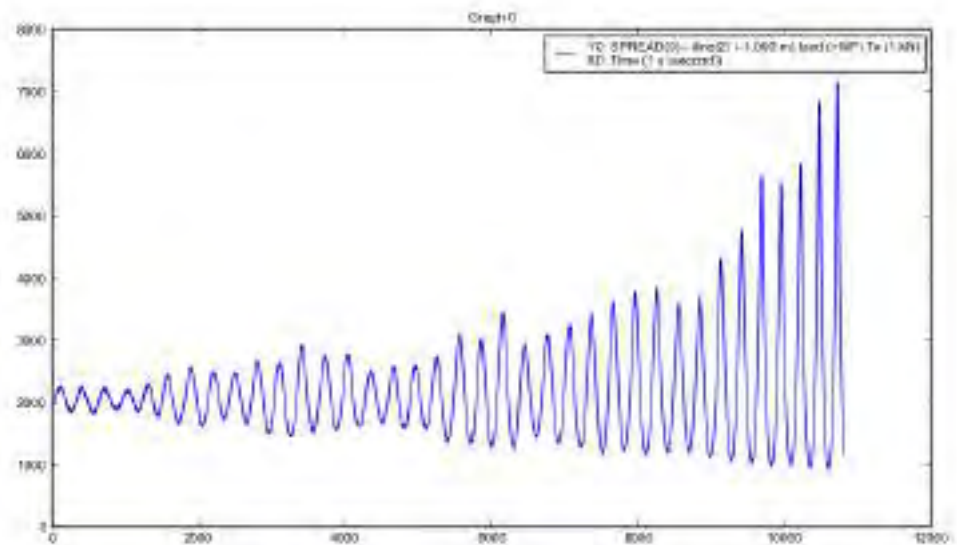
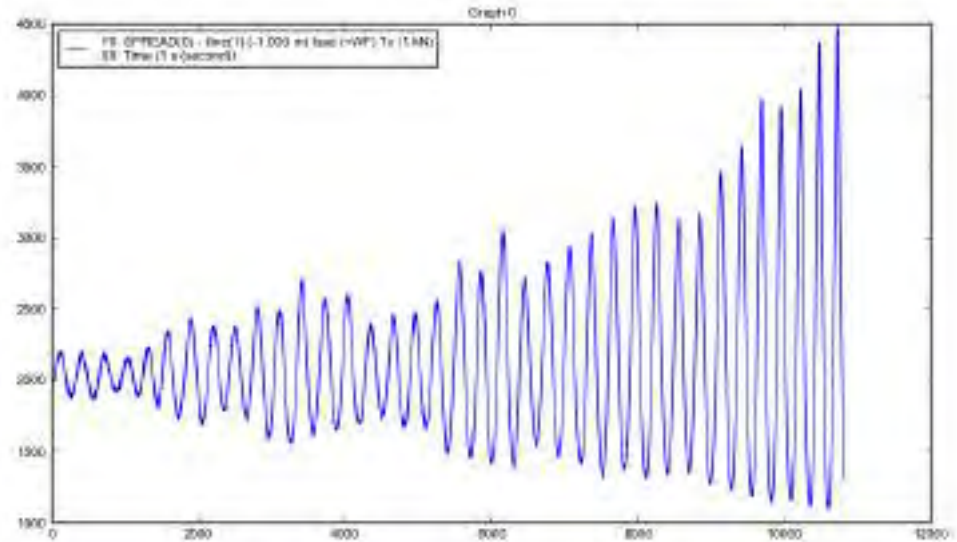
LAMPIRAN B

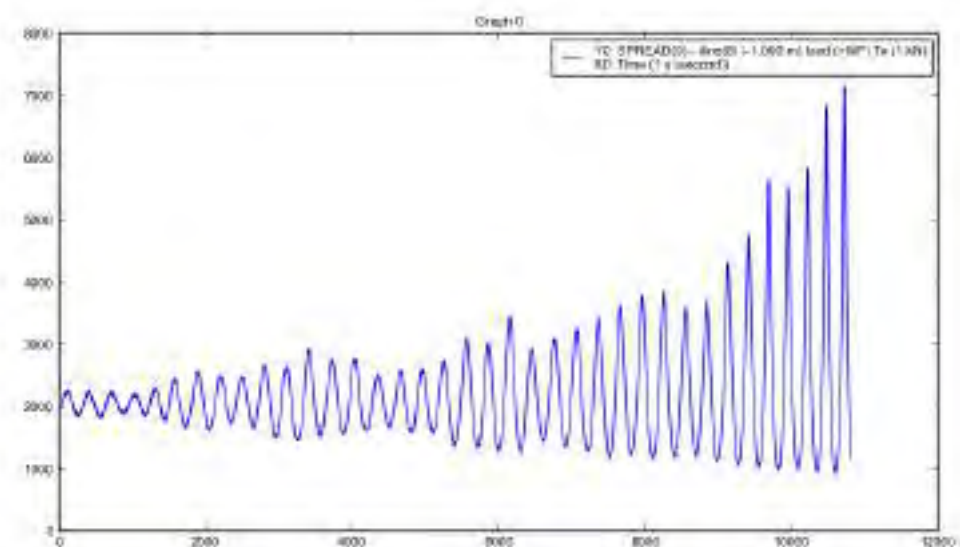
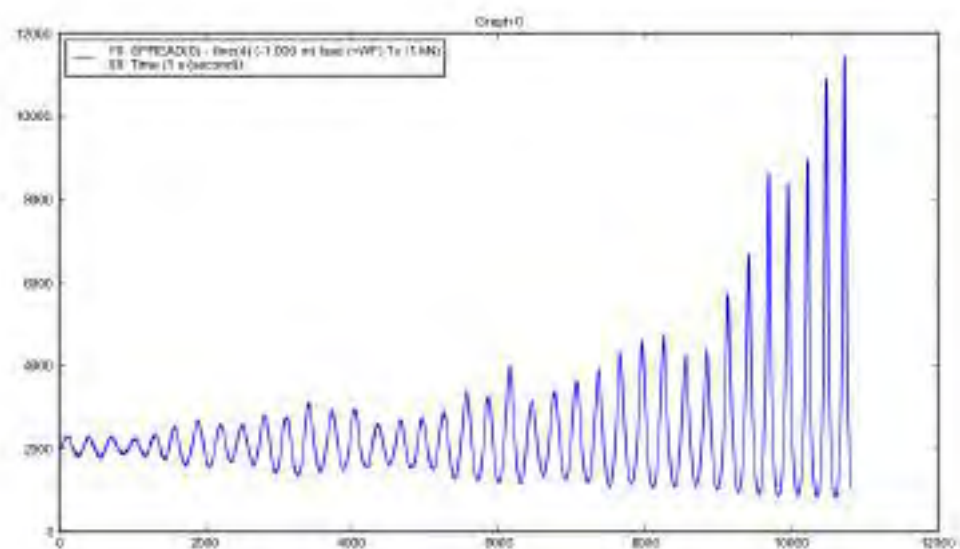
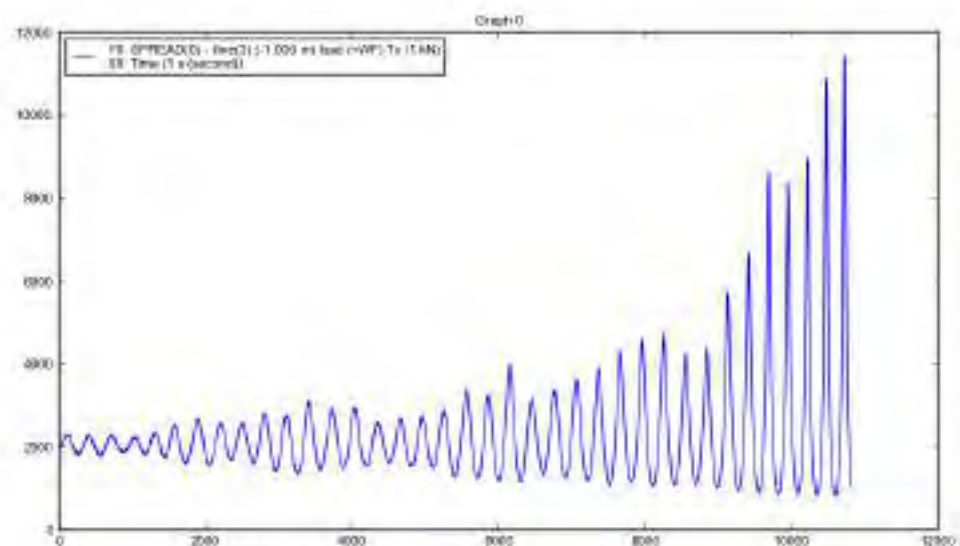
(OUTPUT SOFTWARE

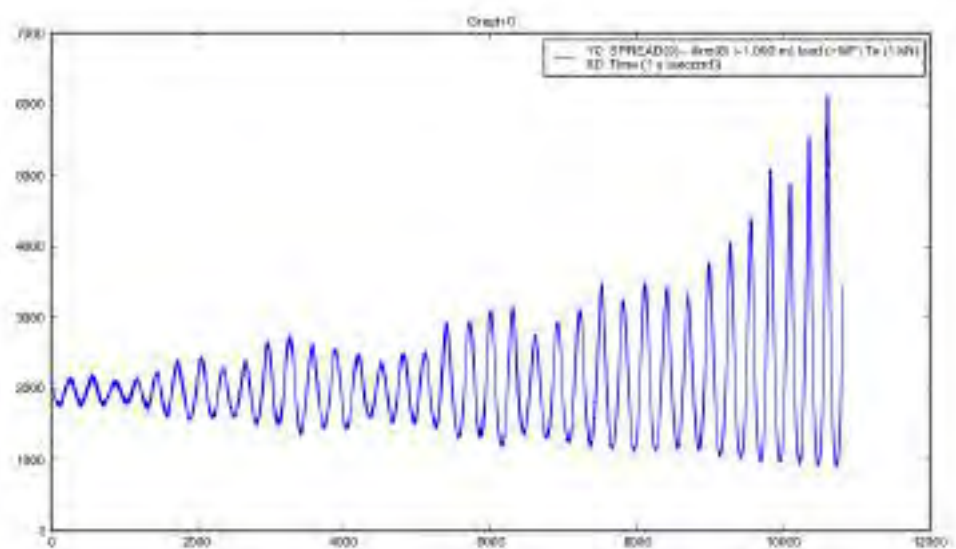
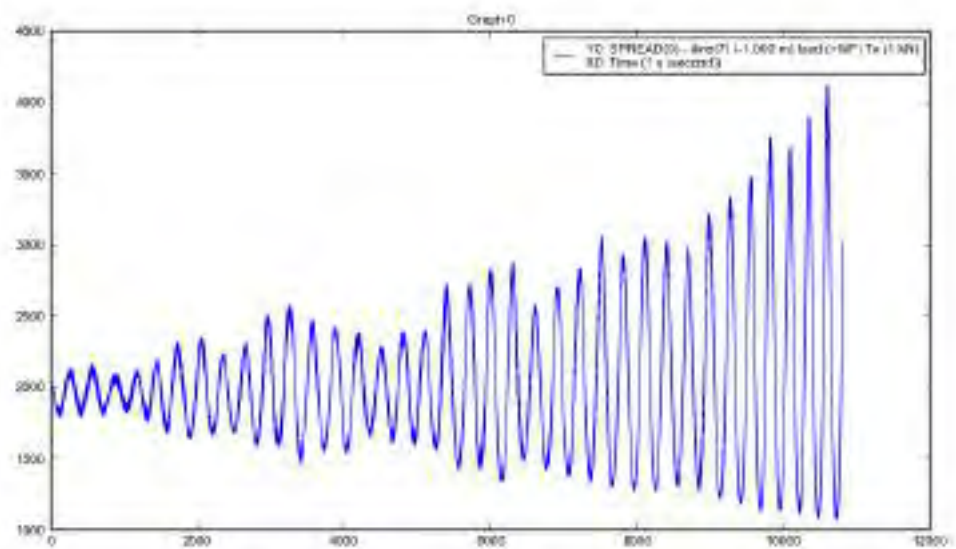
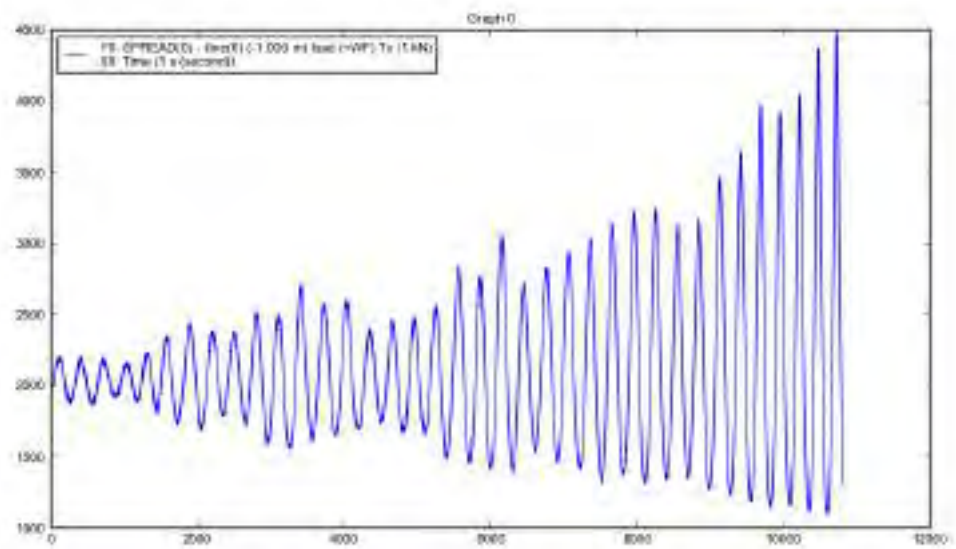
2. Grafik Tension & Offset

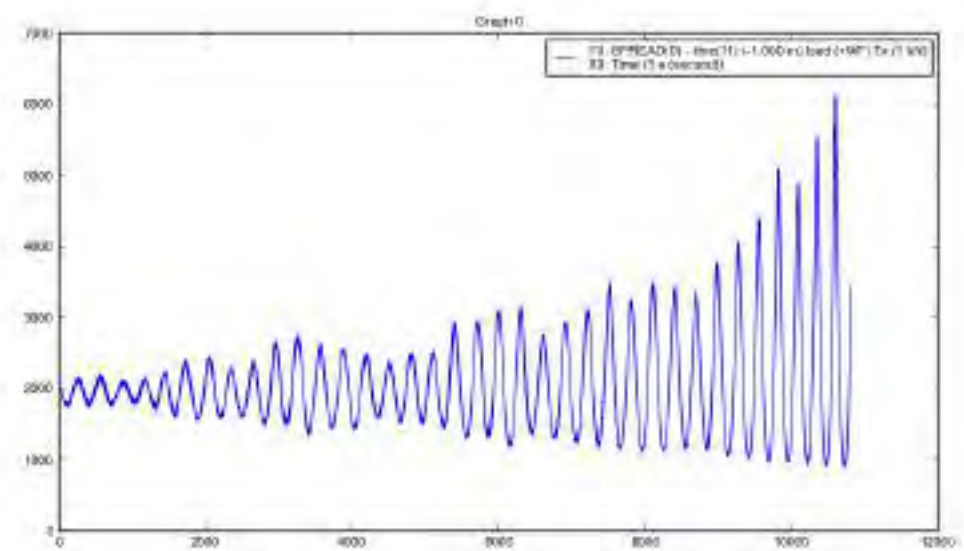
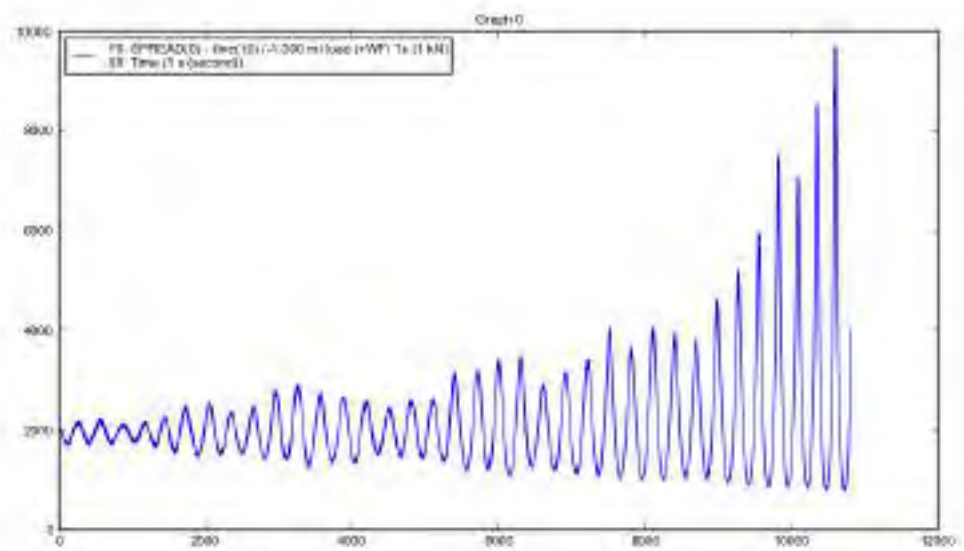
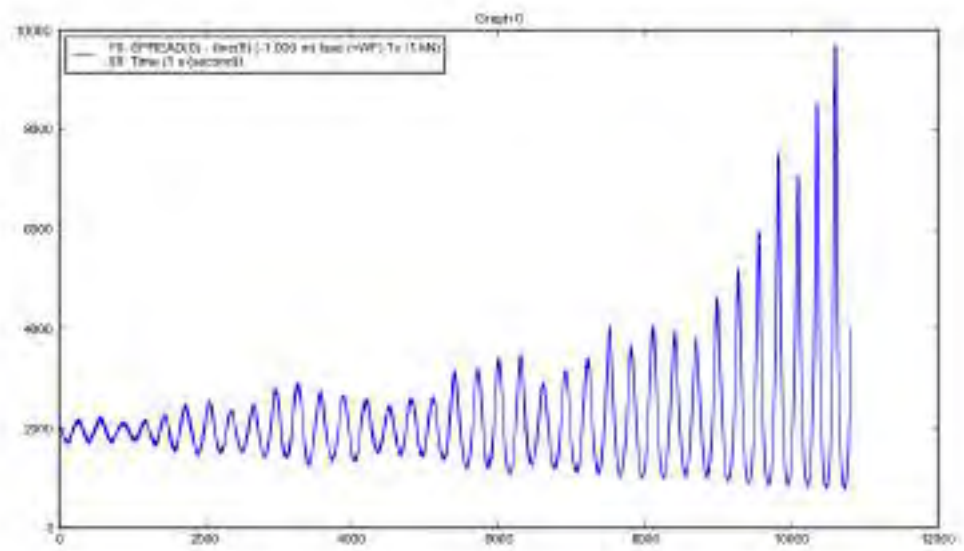
2.1 Tension dan Offset Pembebanan Collinear

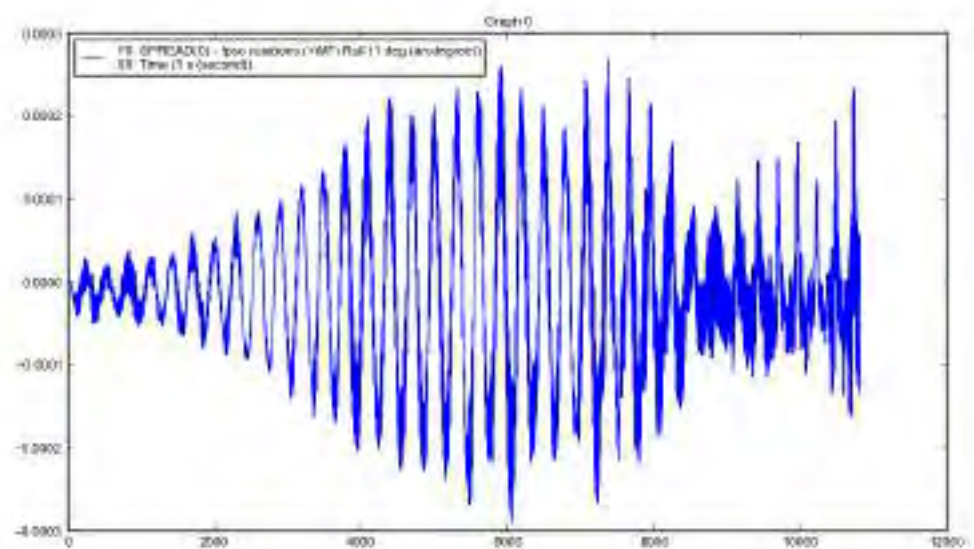
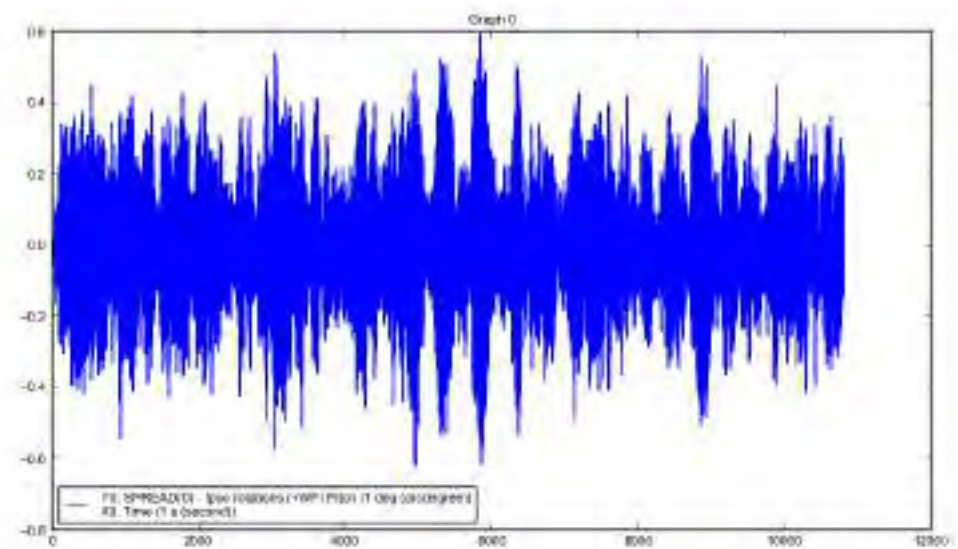
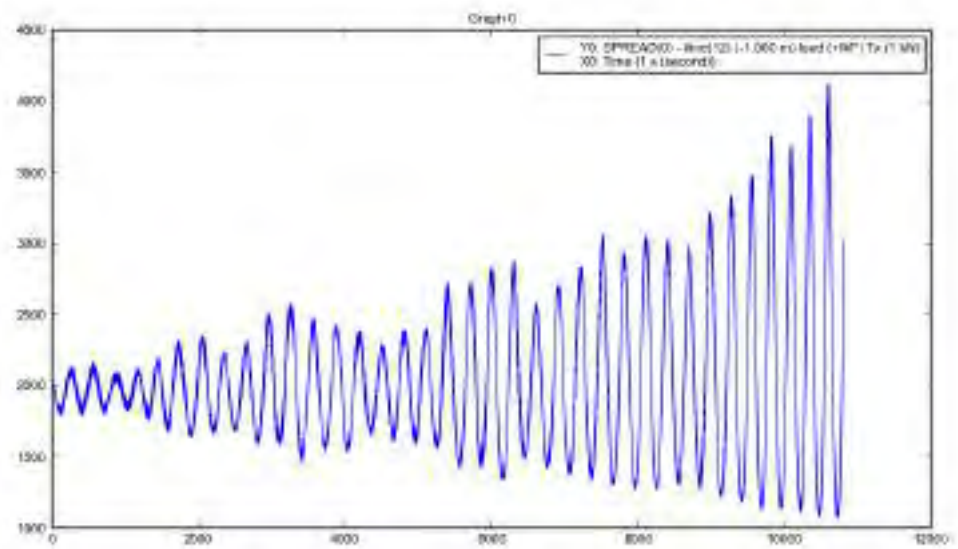
a) Konfigurasi Group

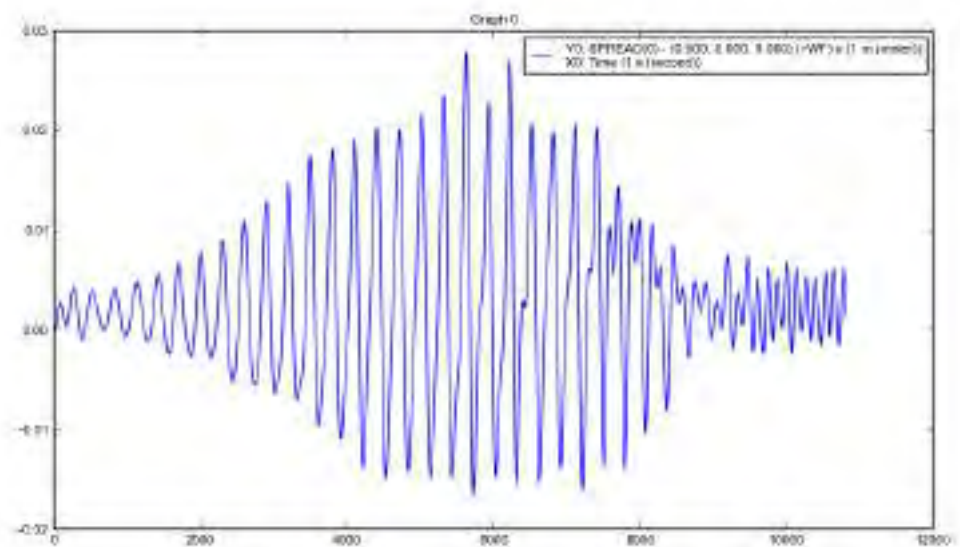
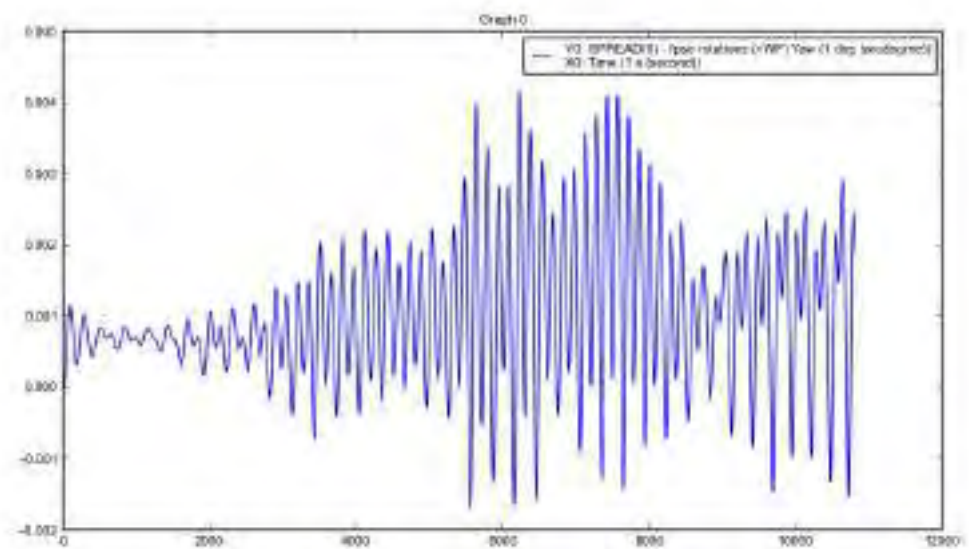
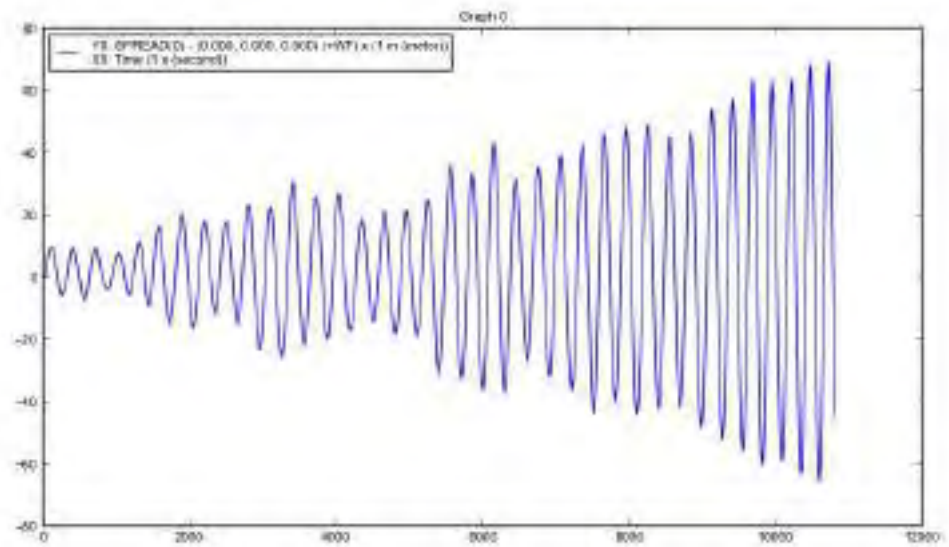


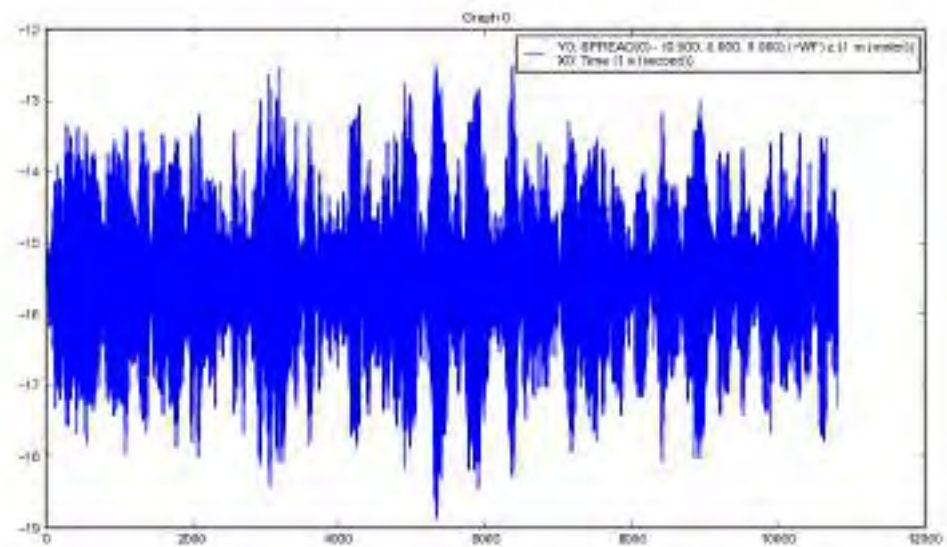




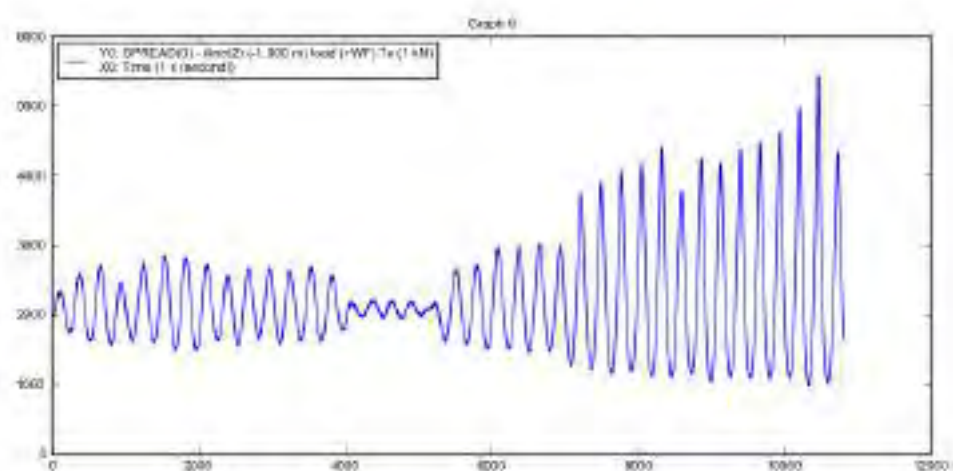
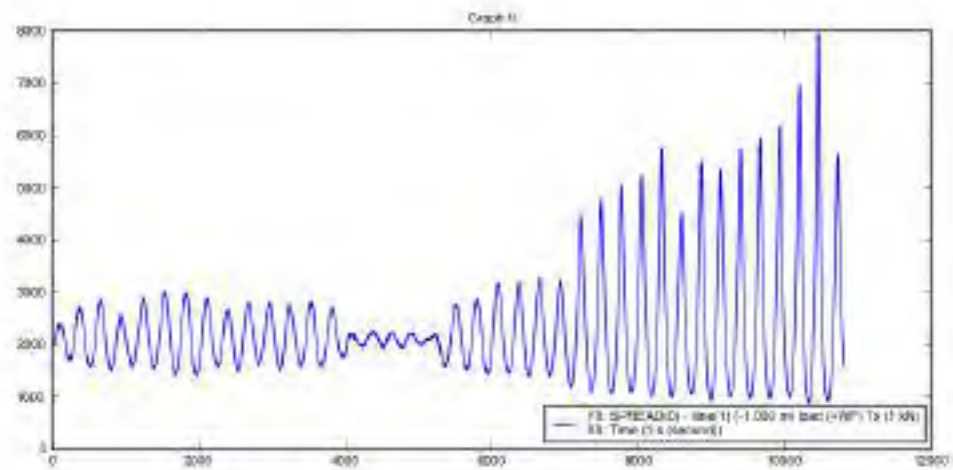


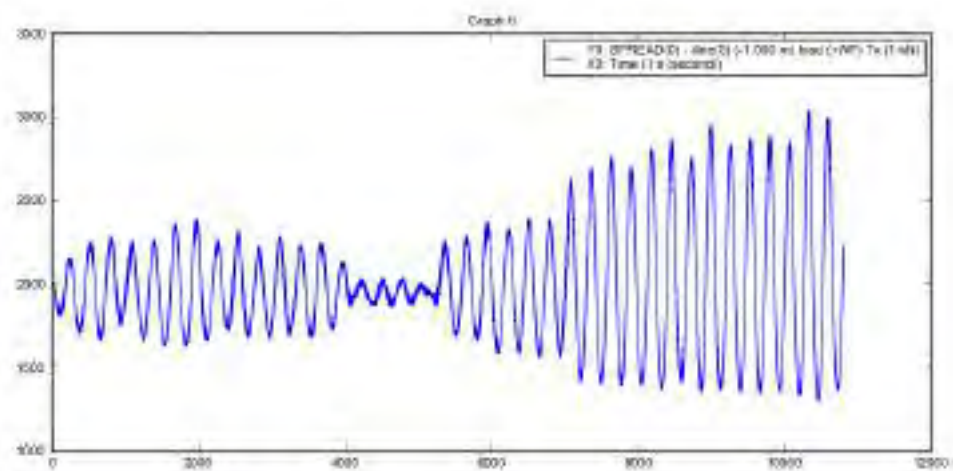
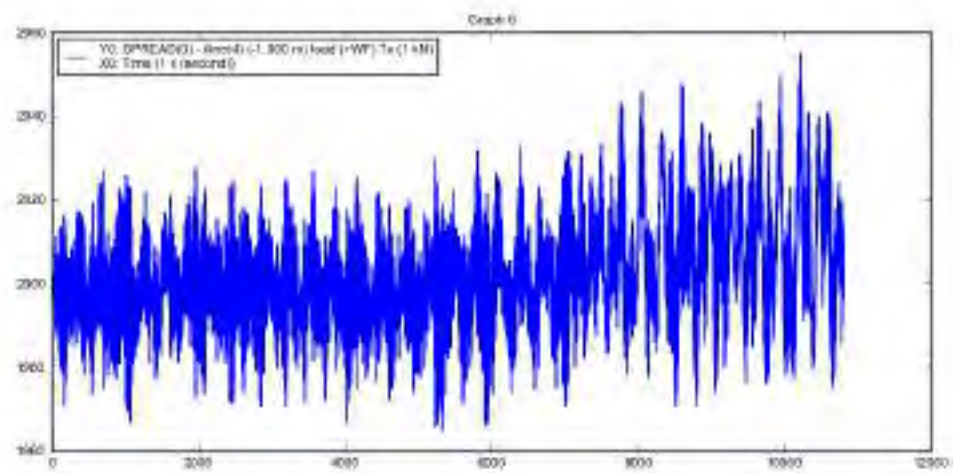
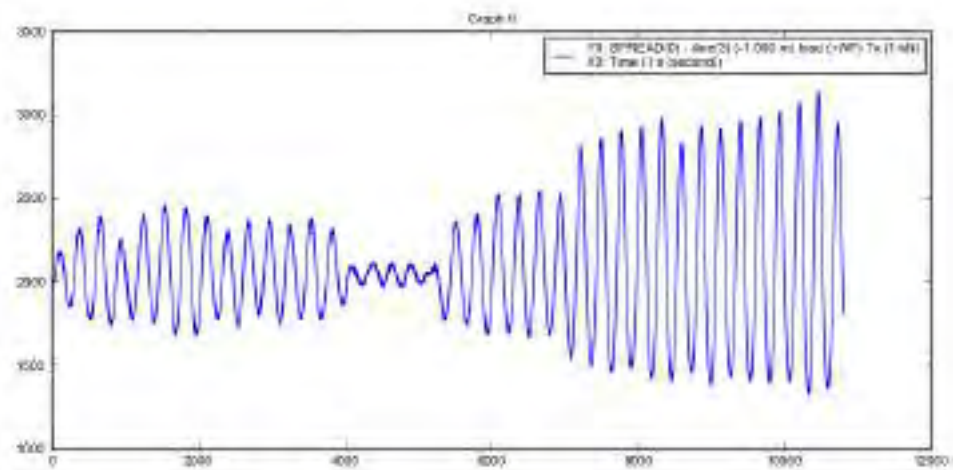


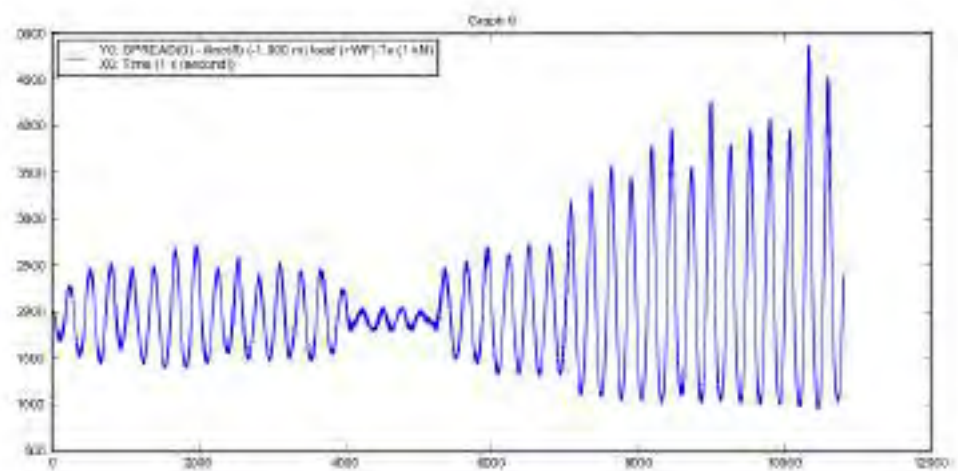
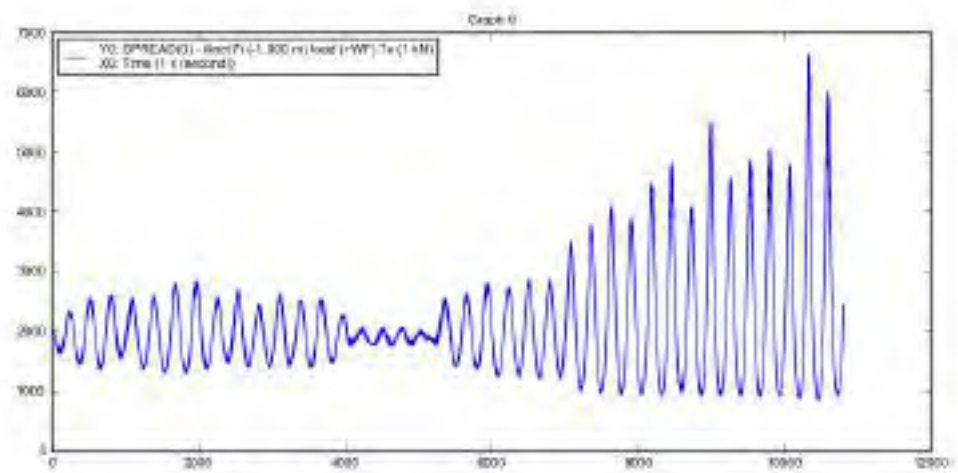
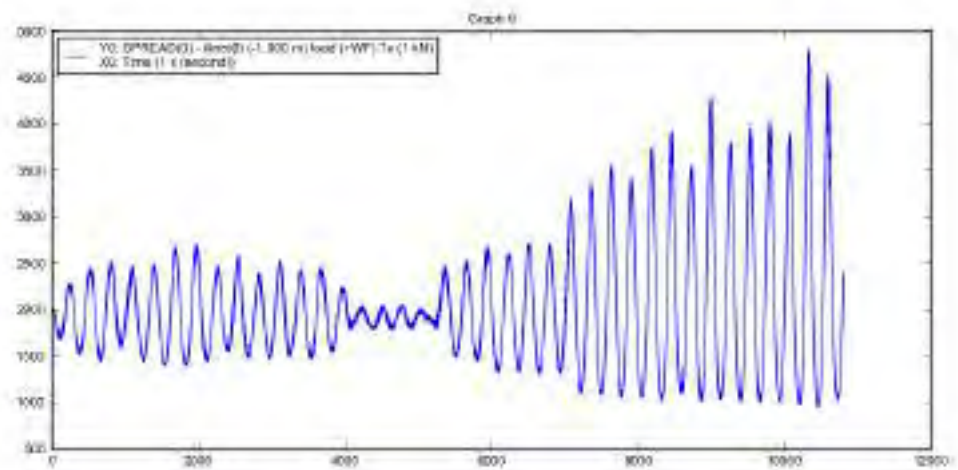


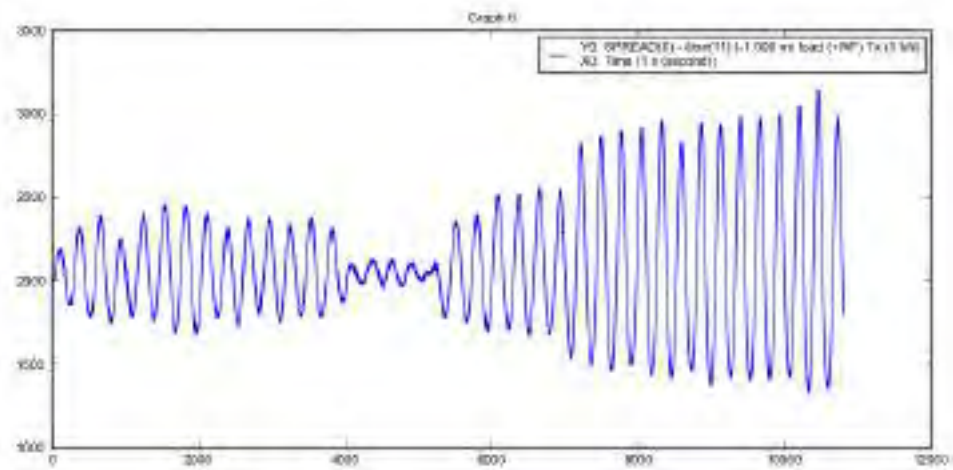
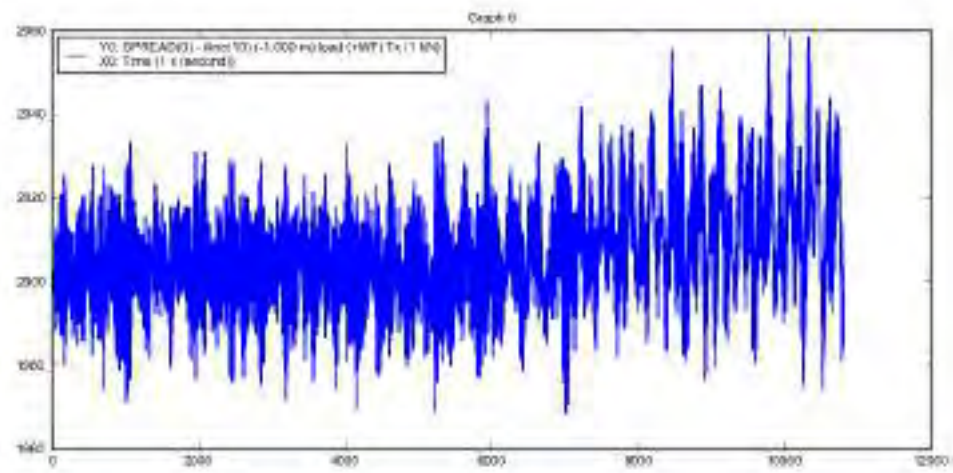
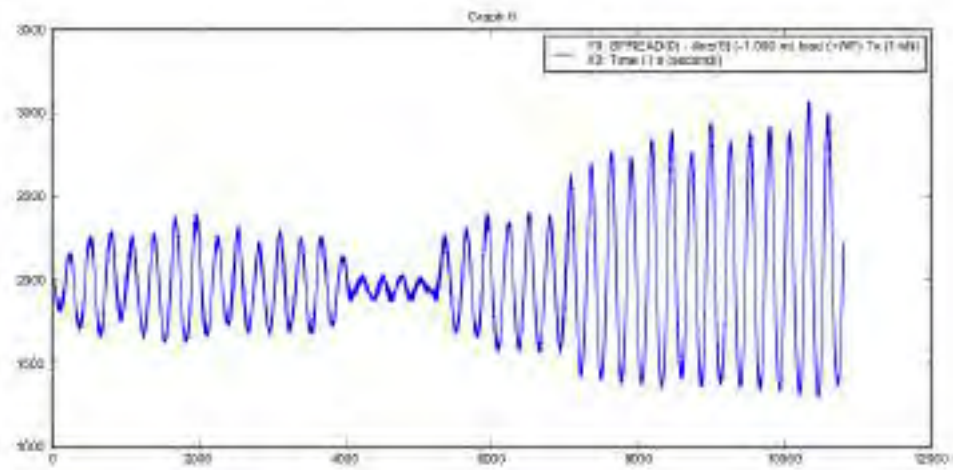


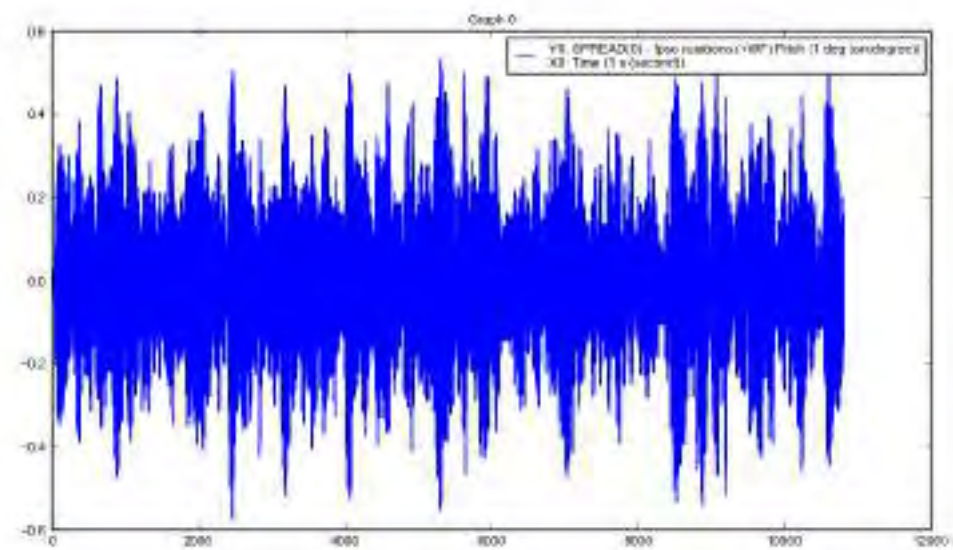
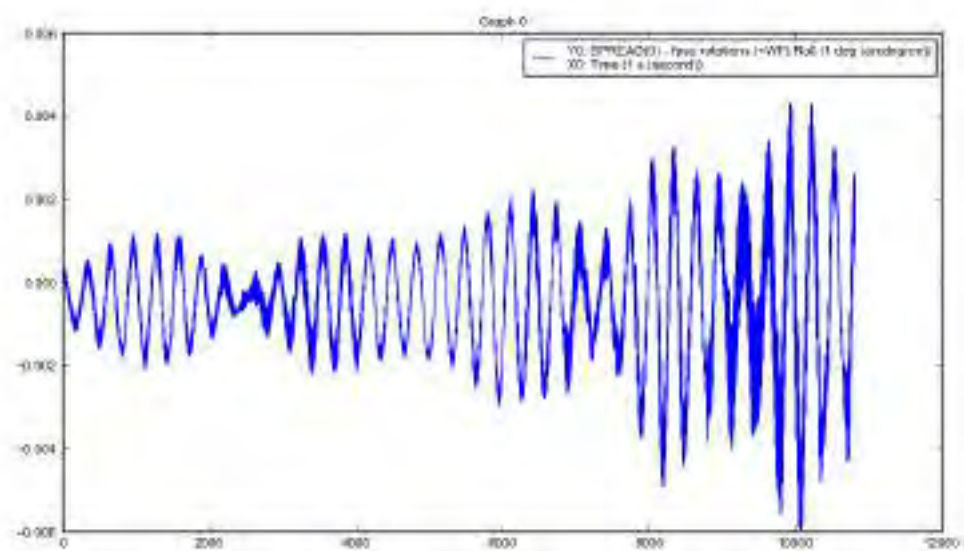
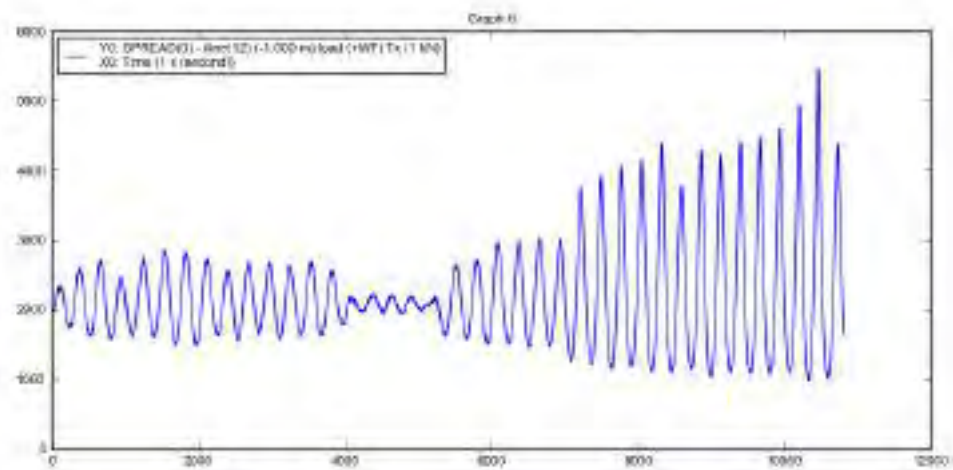
b) Konfigurasi Spread

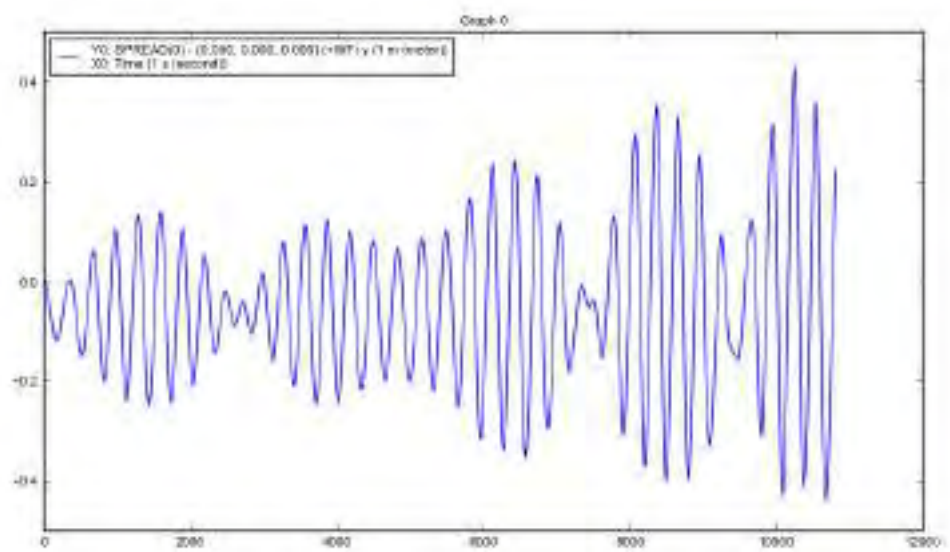
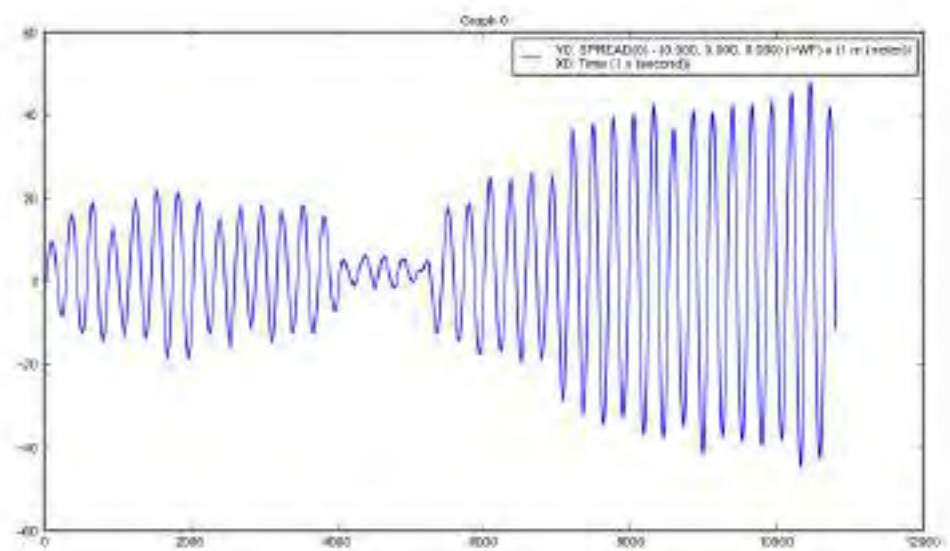
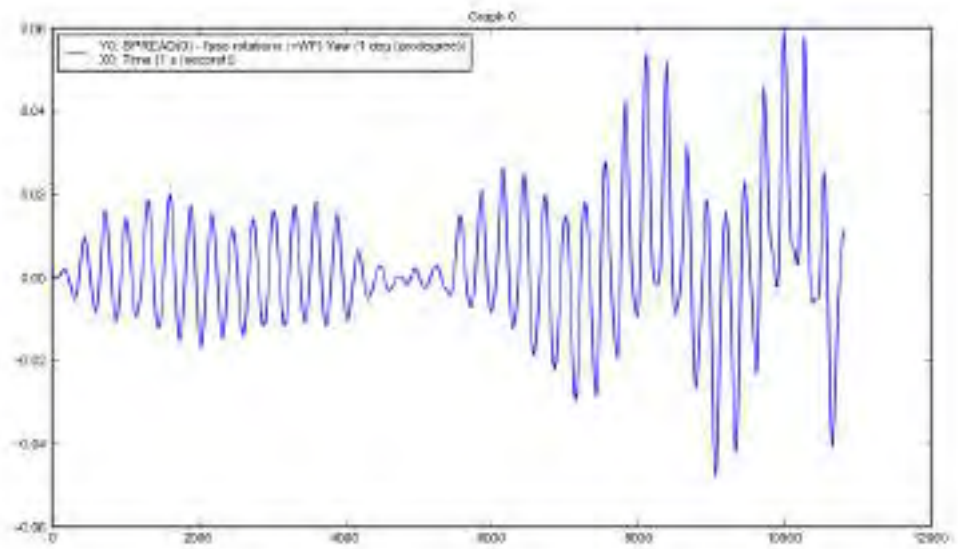


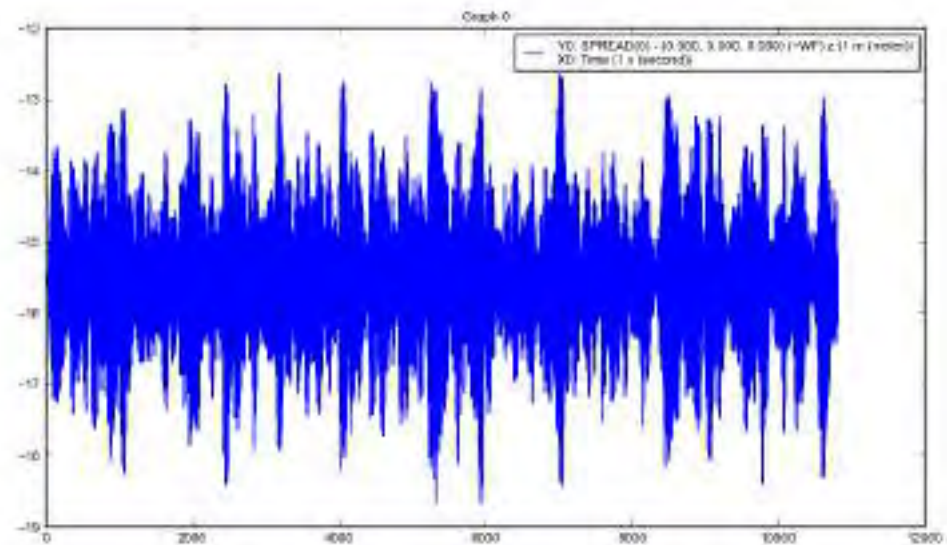








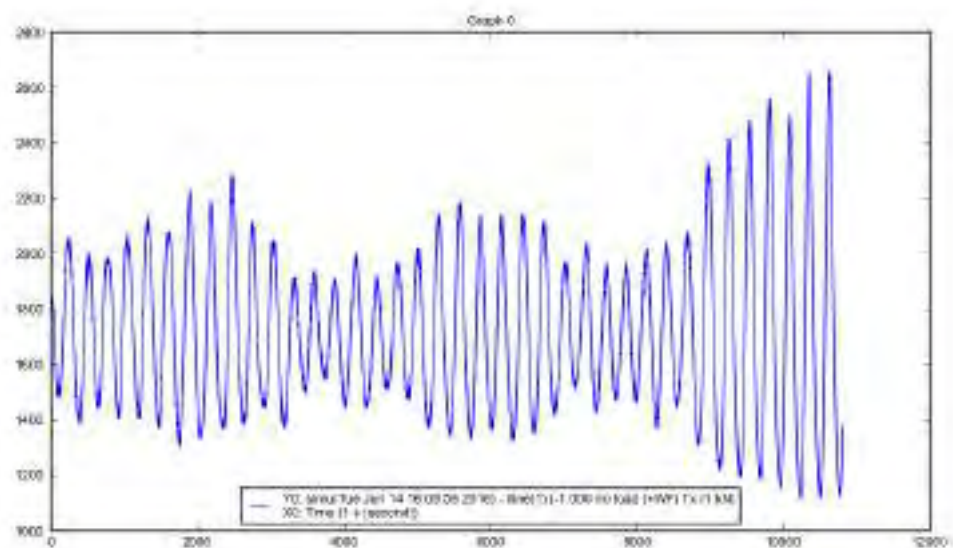


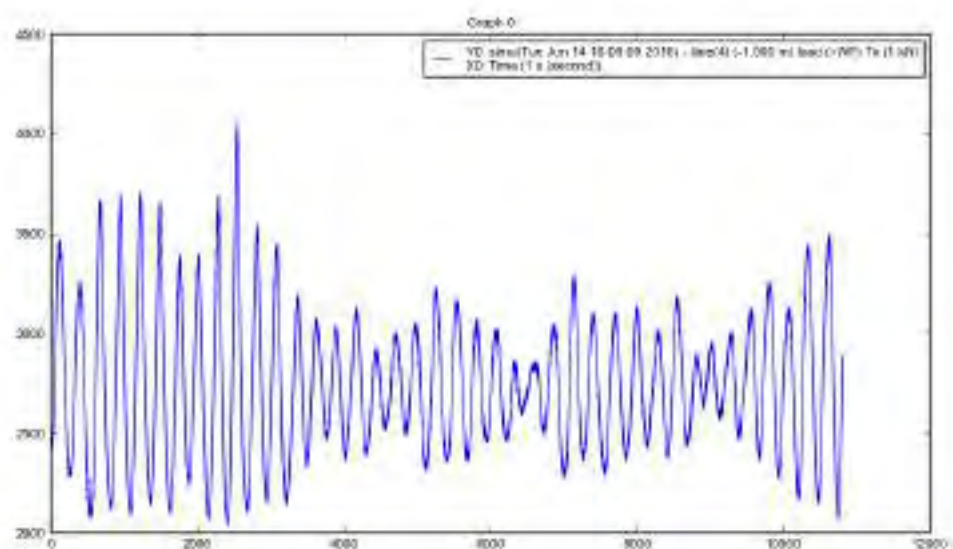
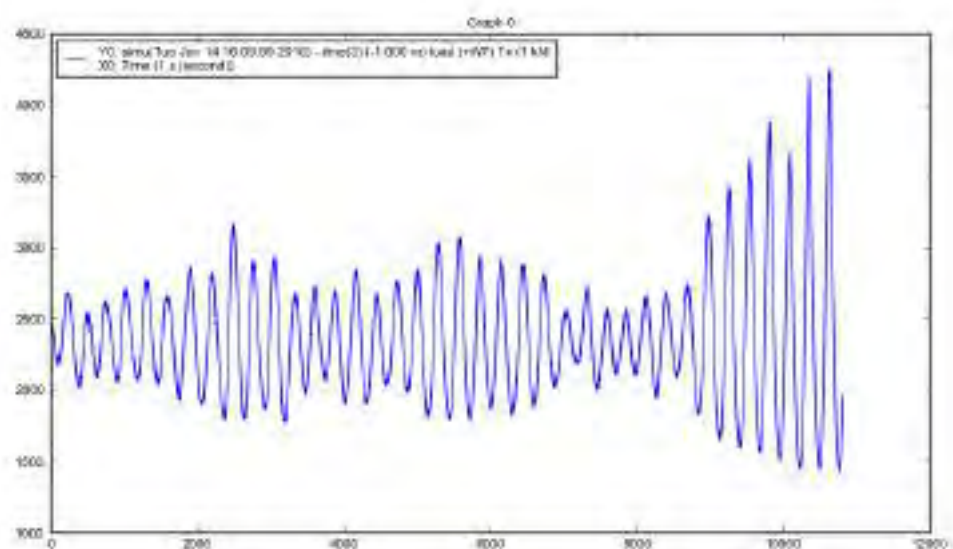
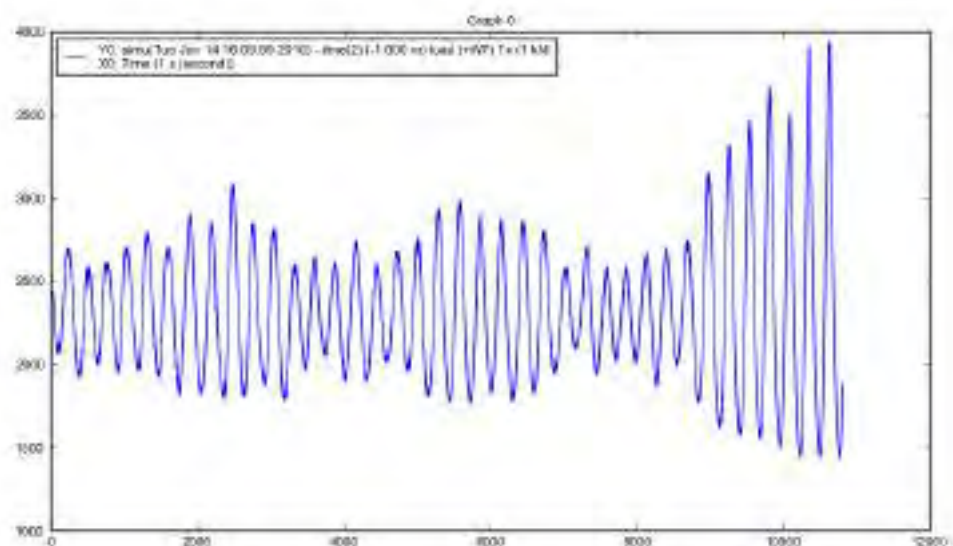


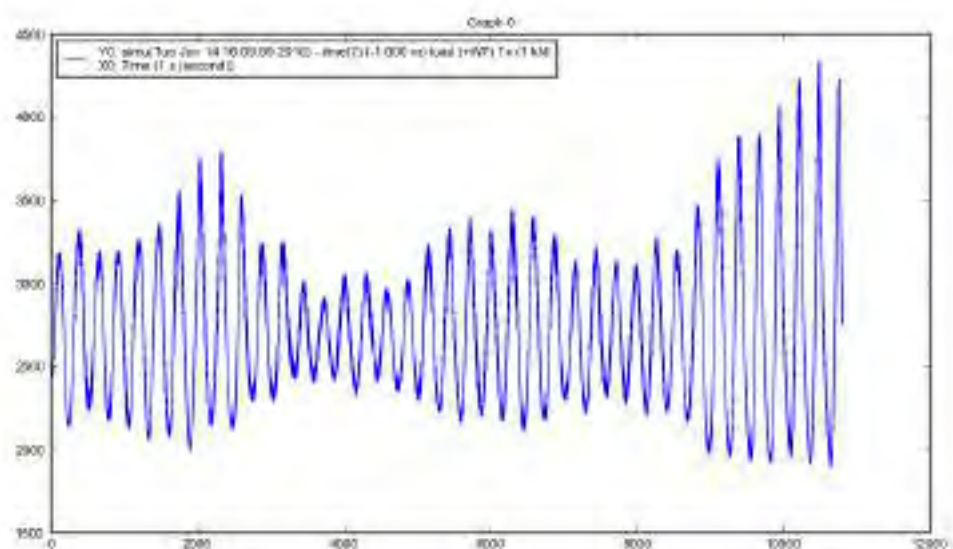
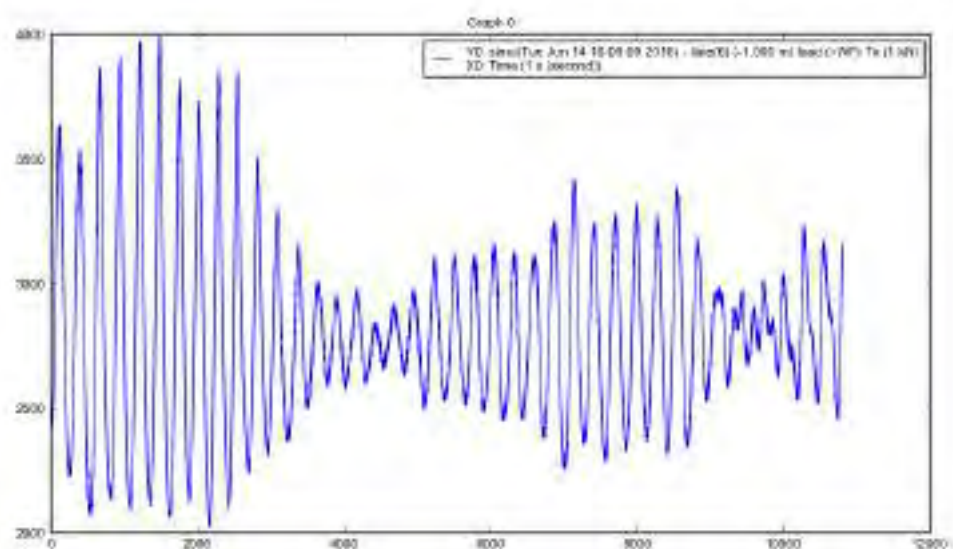
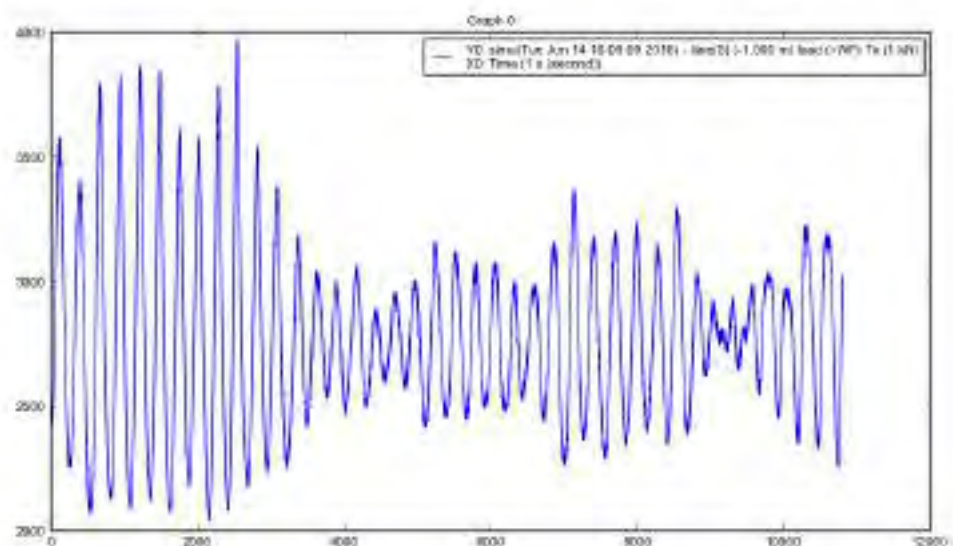
2.2 Tension dan Offset Pembebanan Non-Collinear I

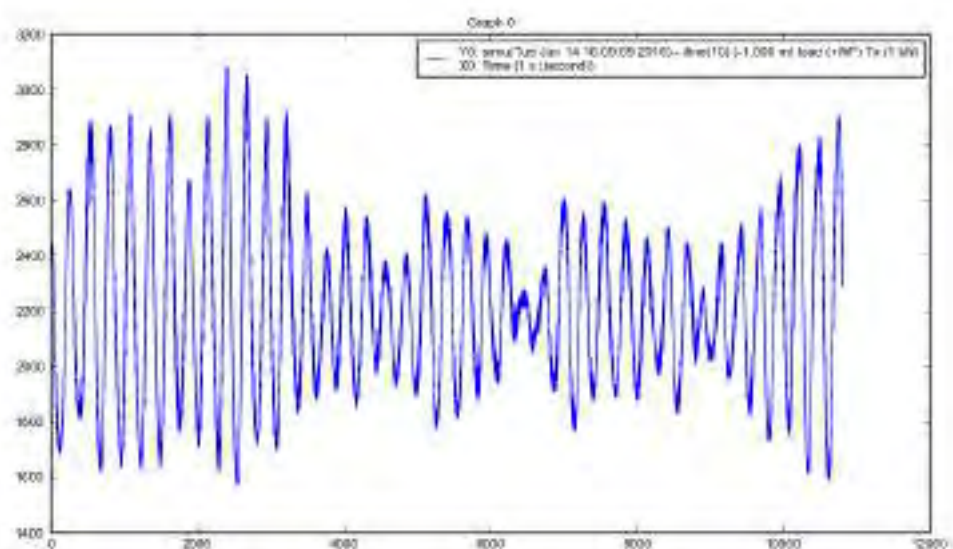
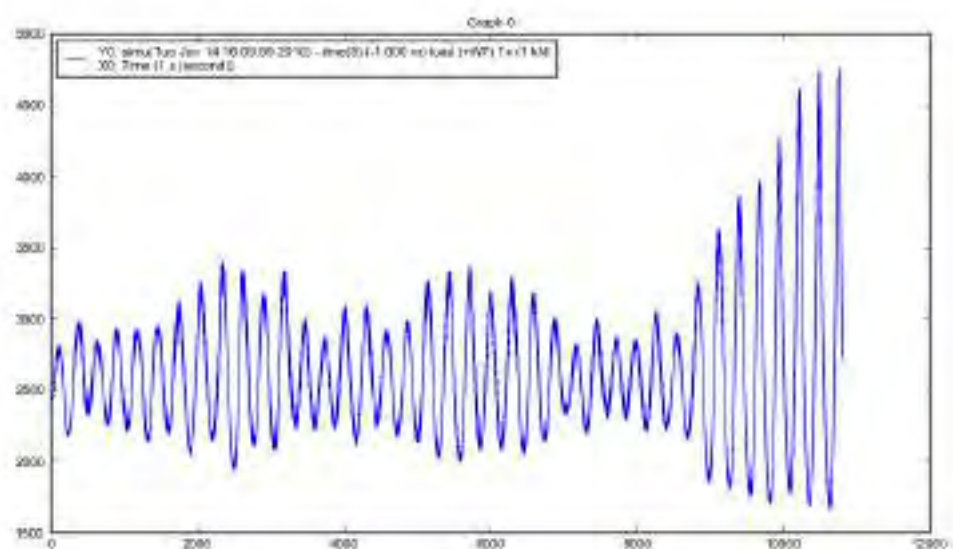
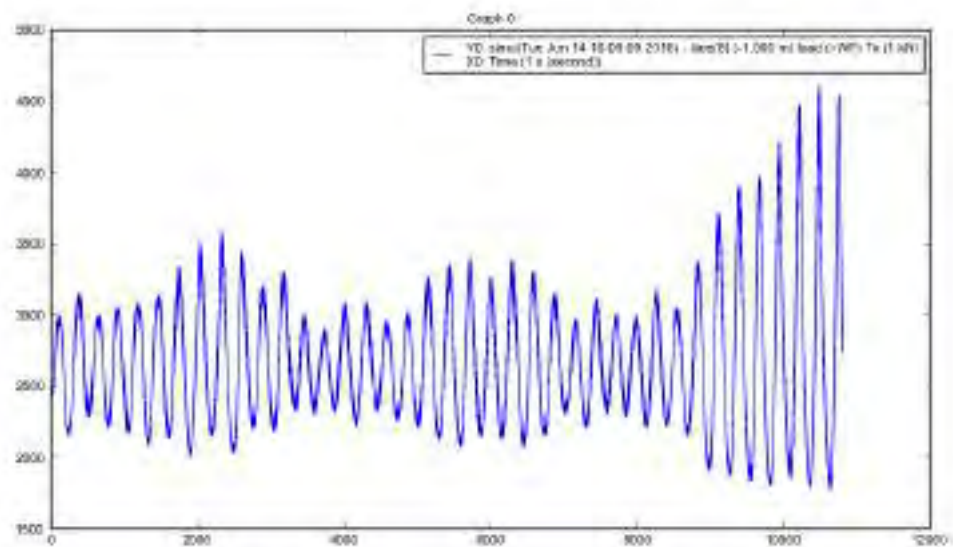
2.2.1 Arah Pembebanan 0 ° -30 ° -30 °

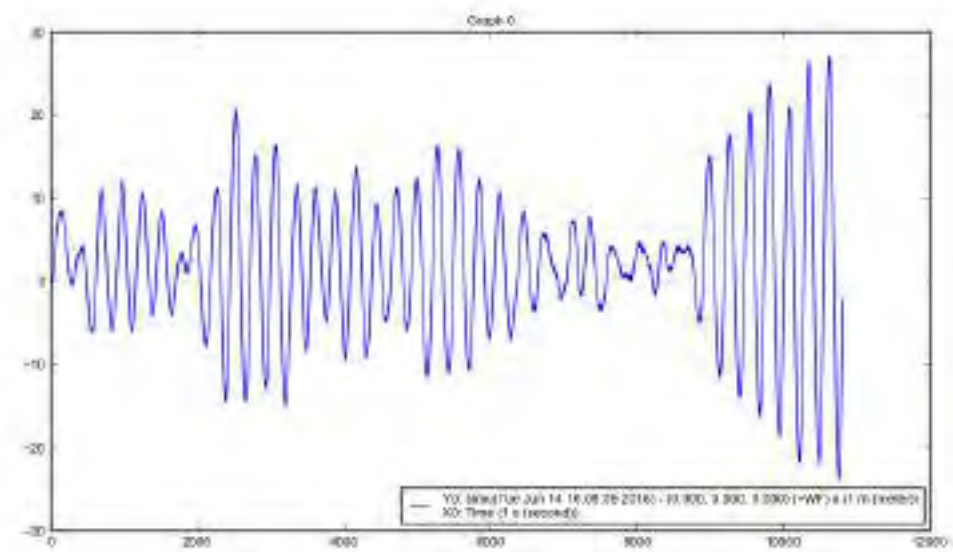
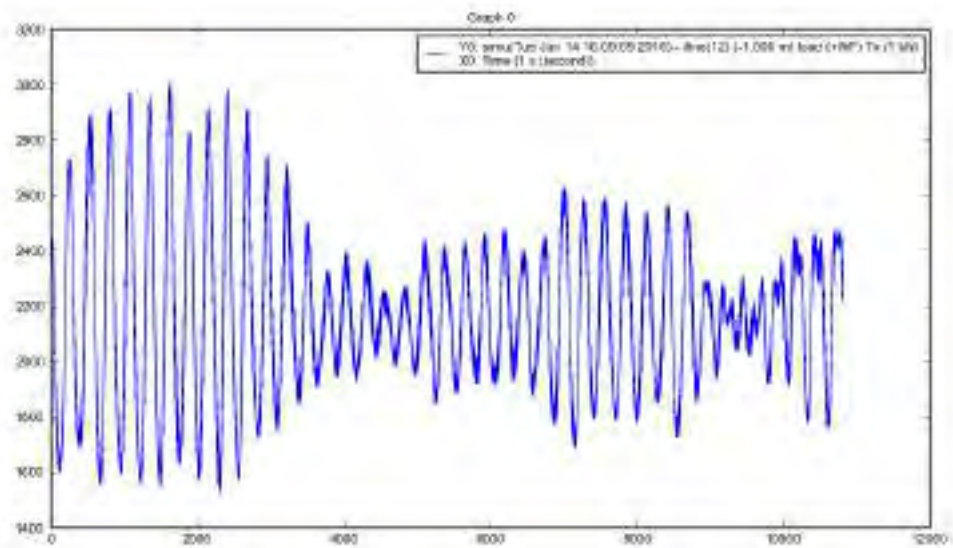
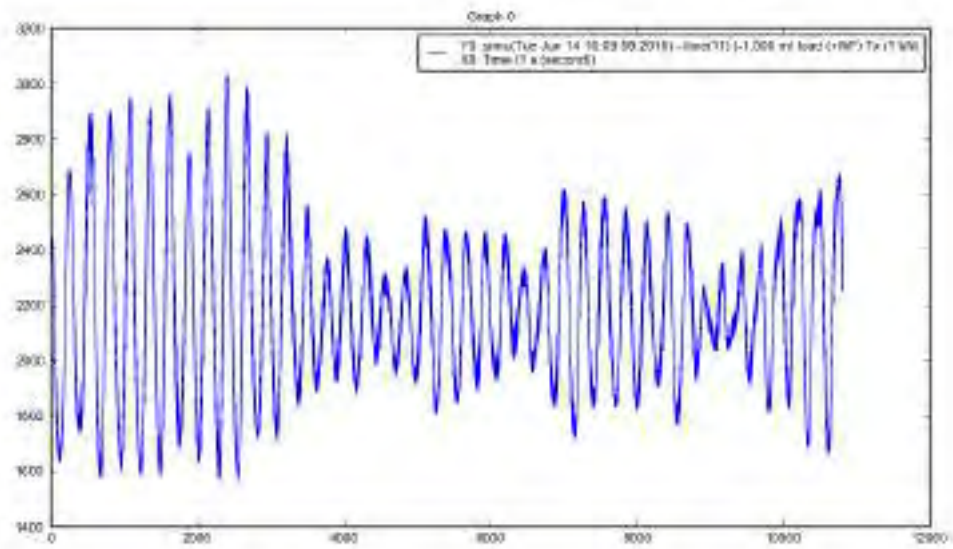
a) Konfigurasi Group

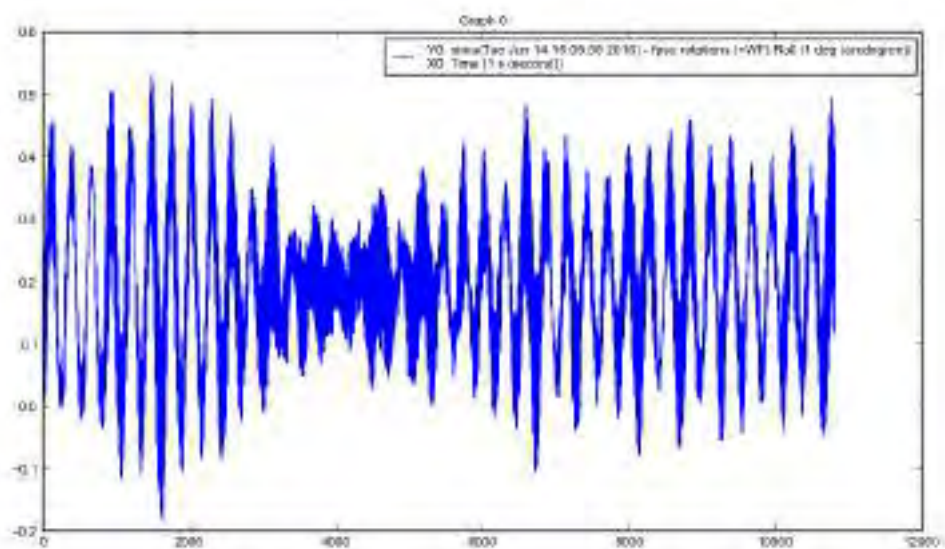
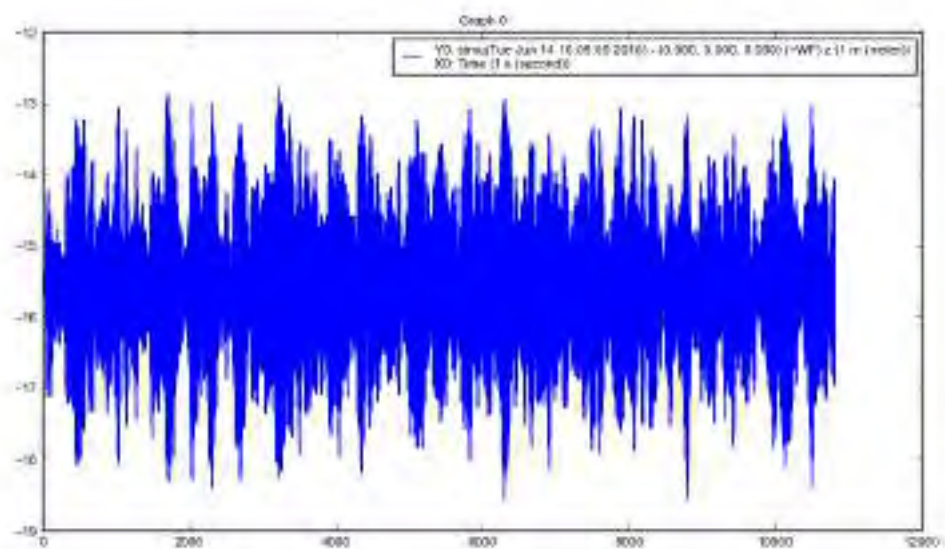
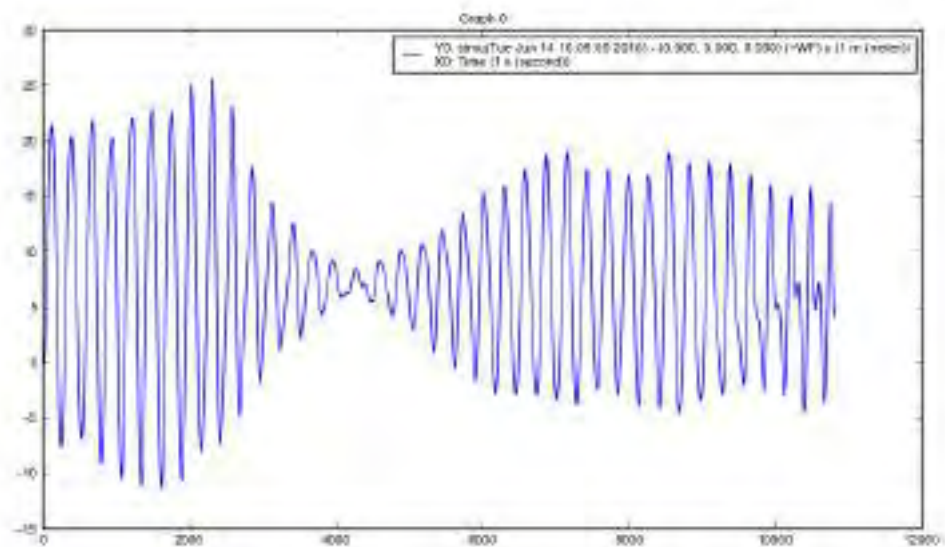


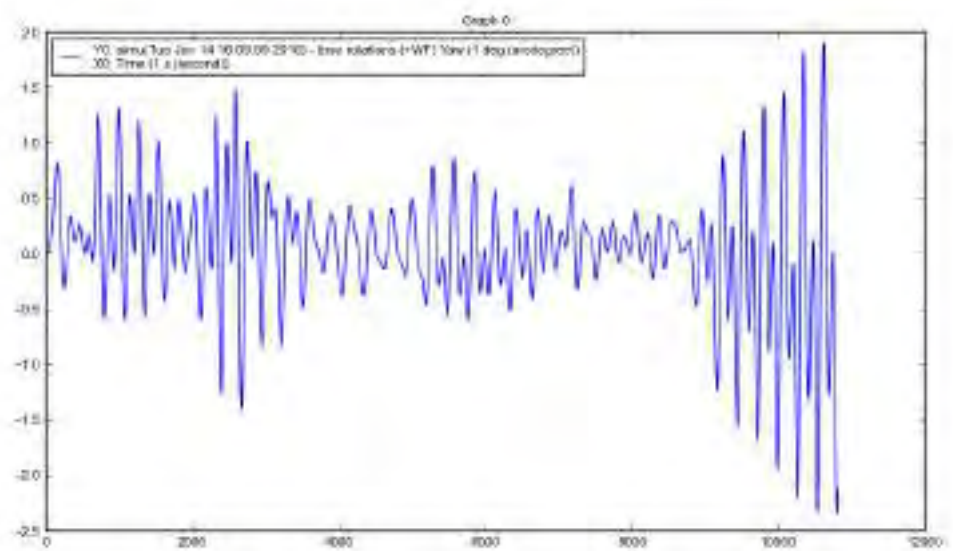
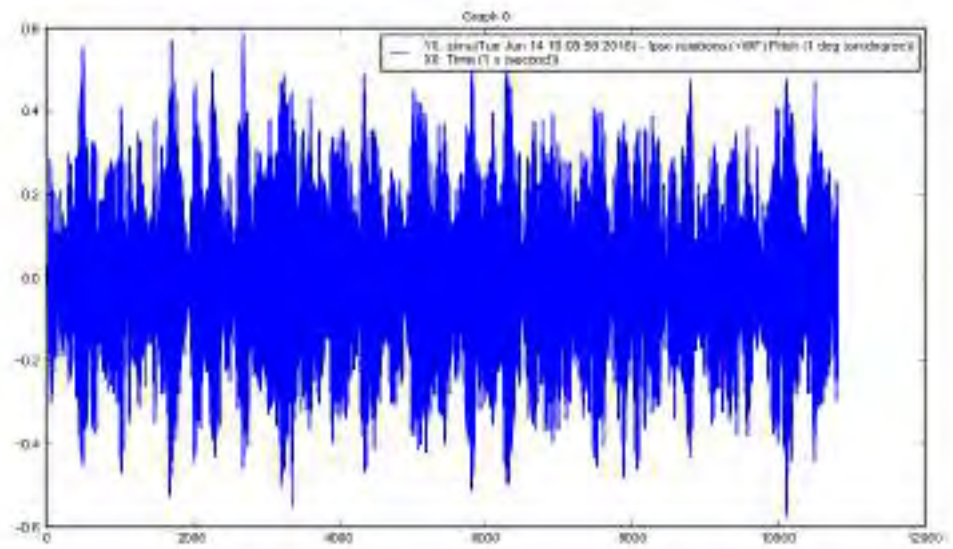




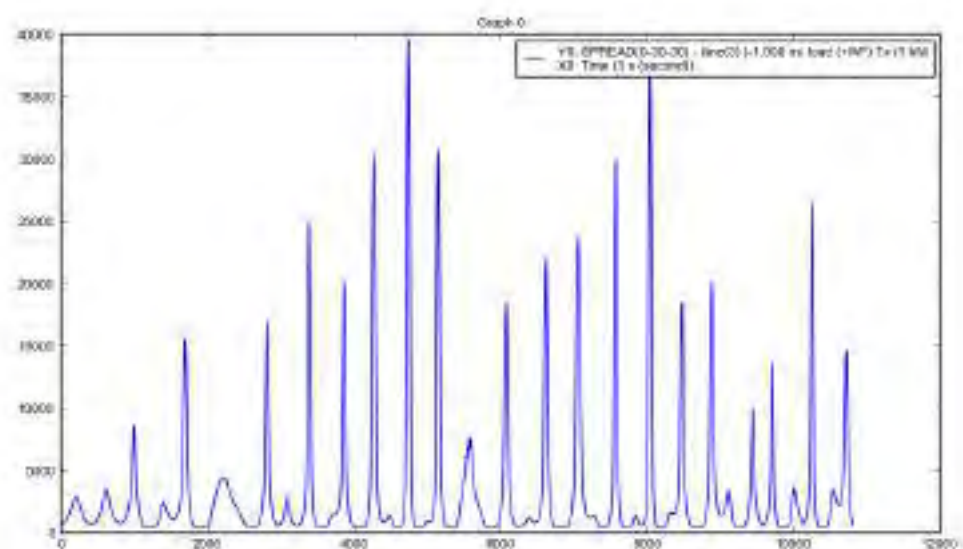
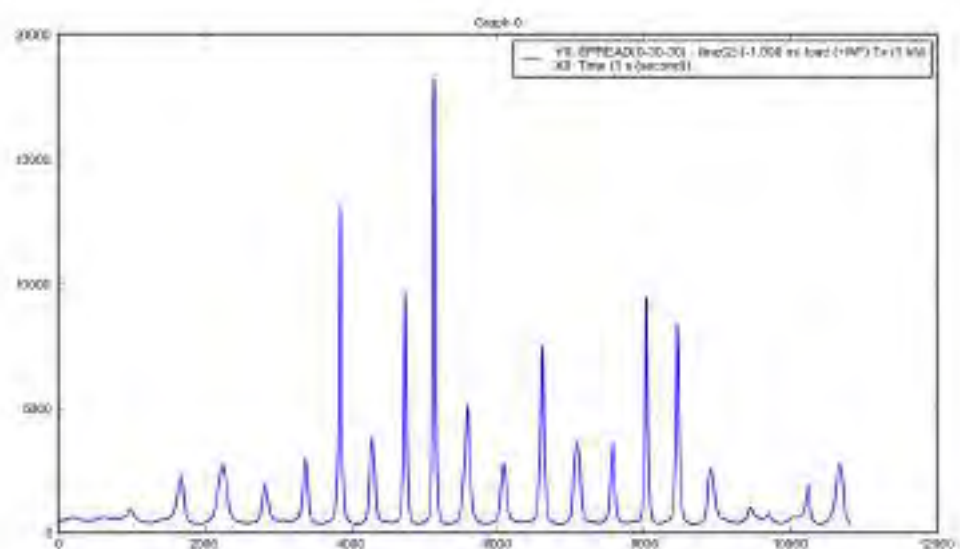
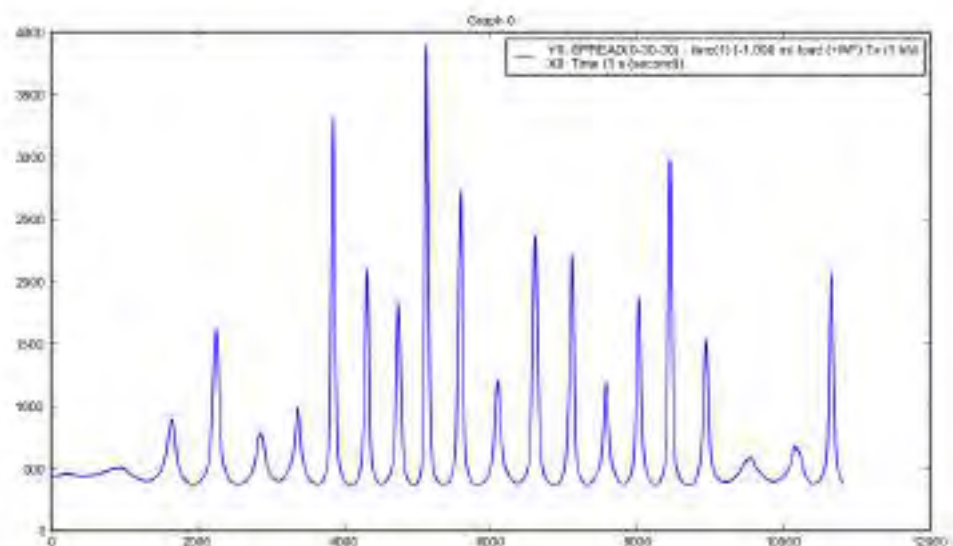


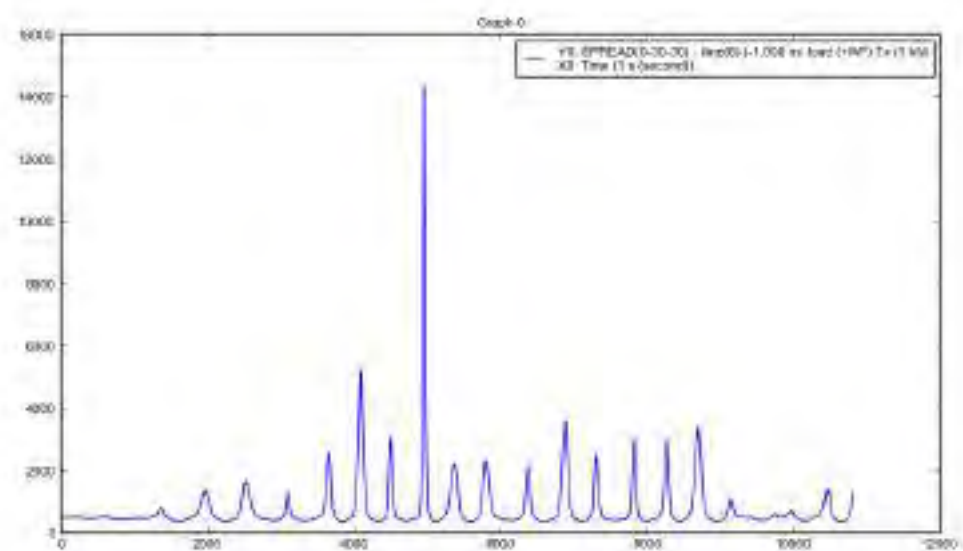
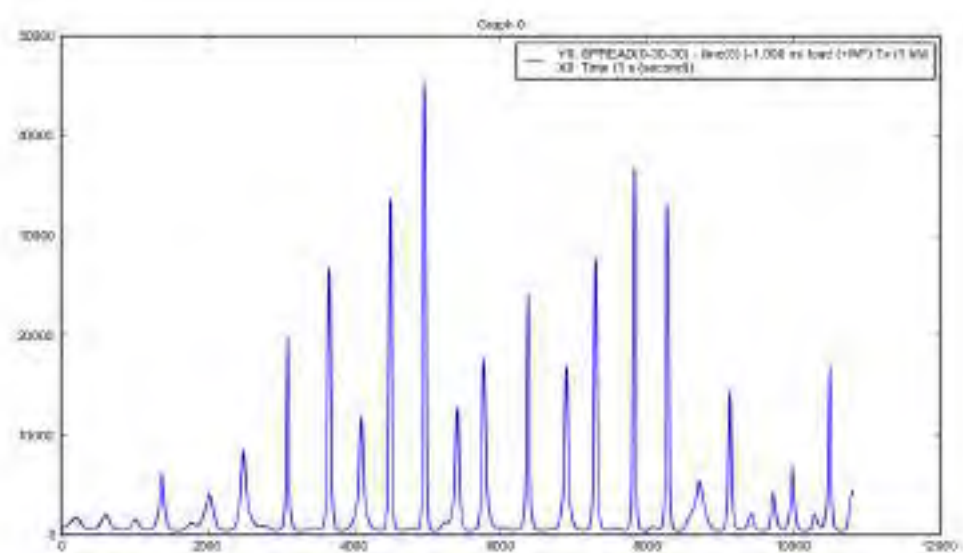
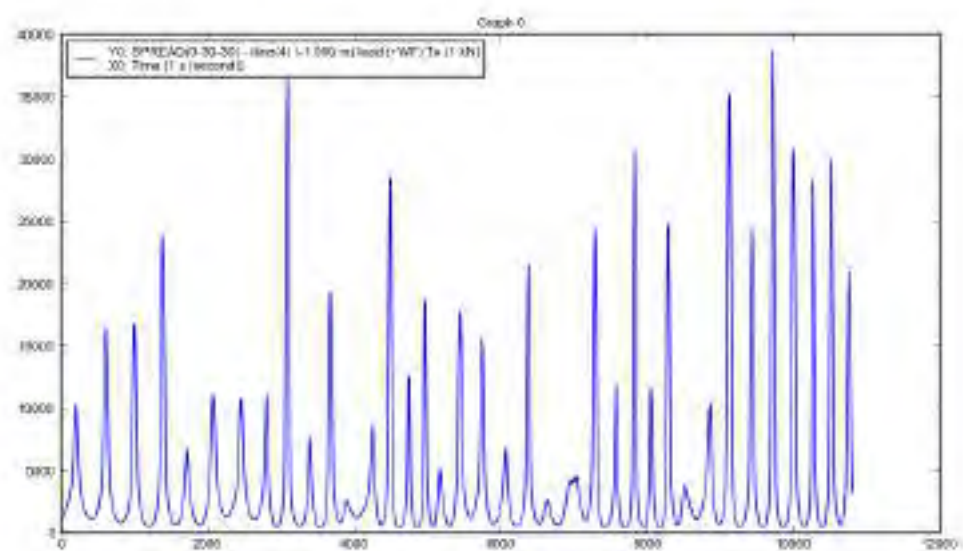


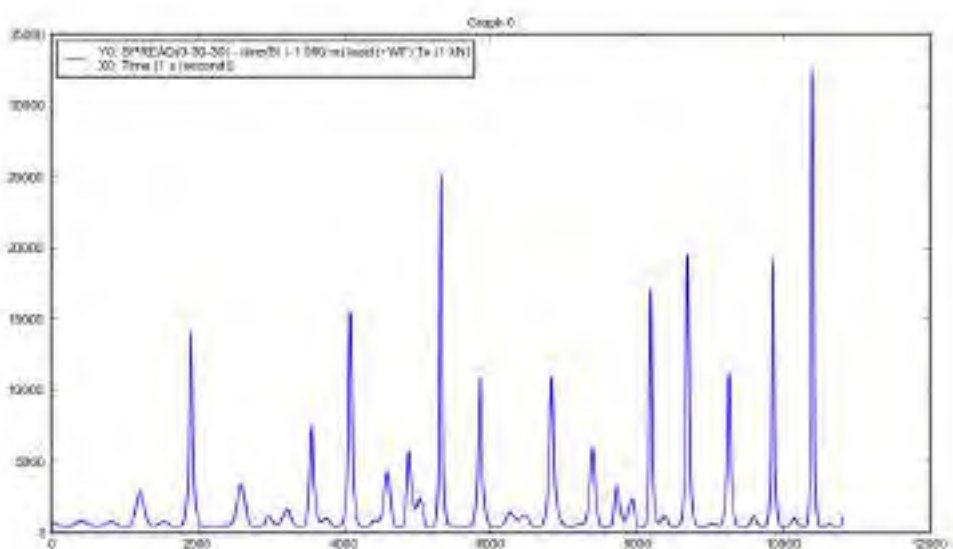
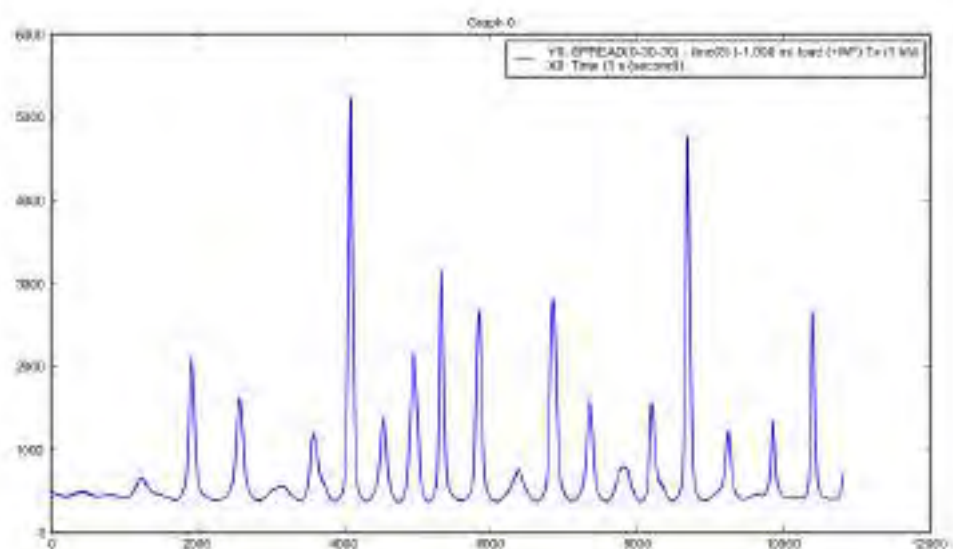
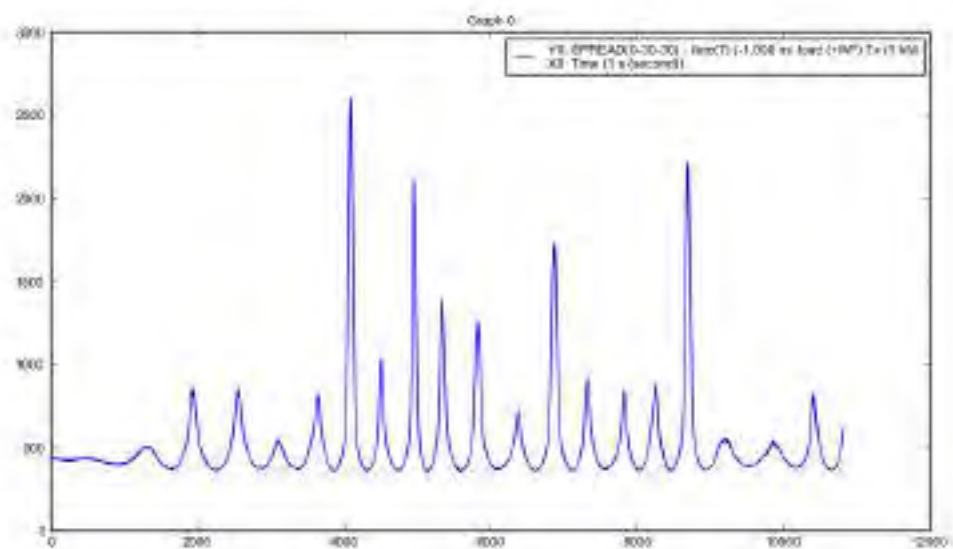


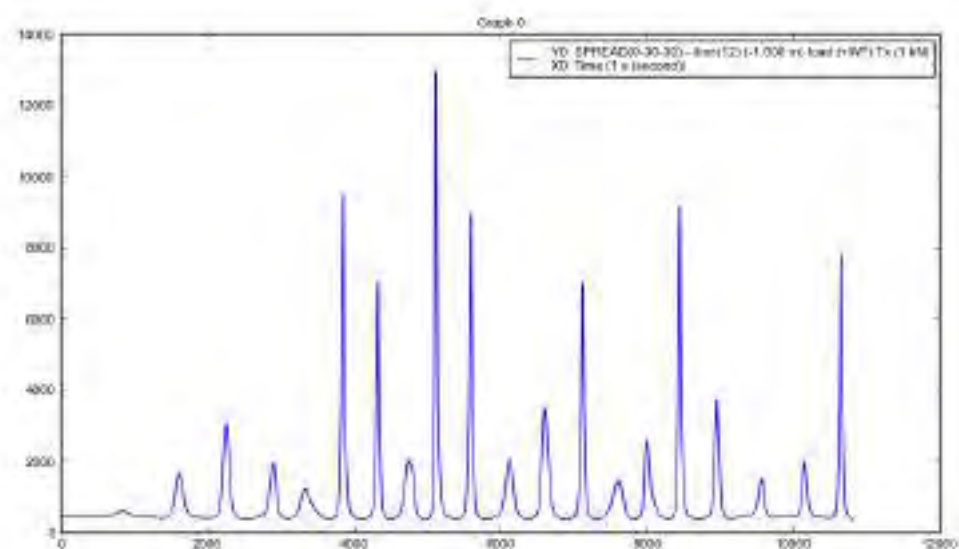
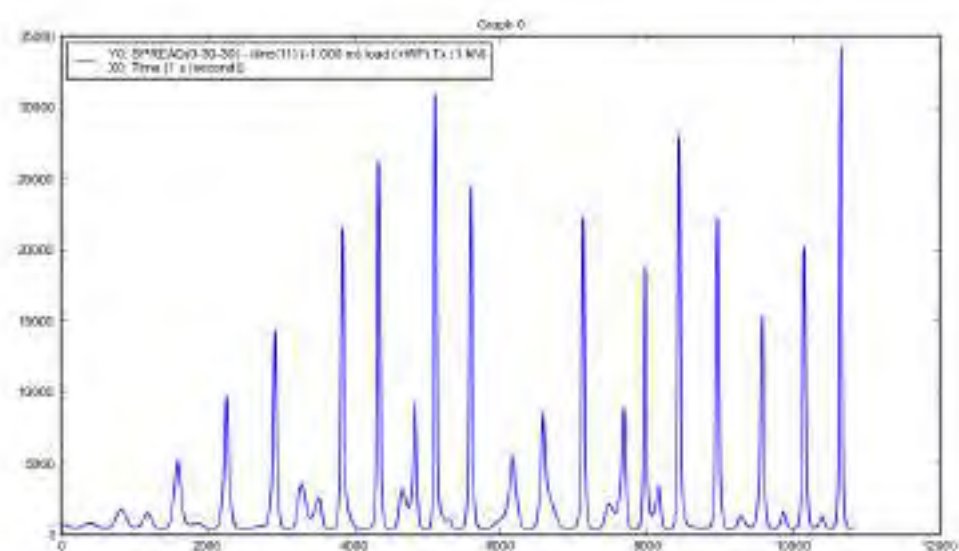
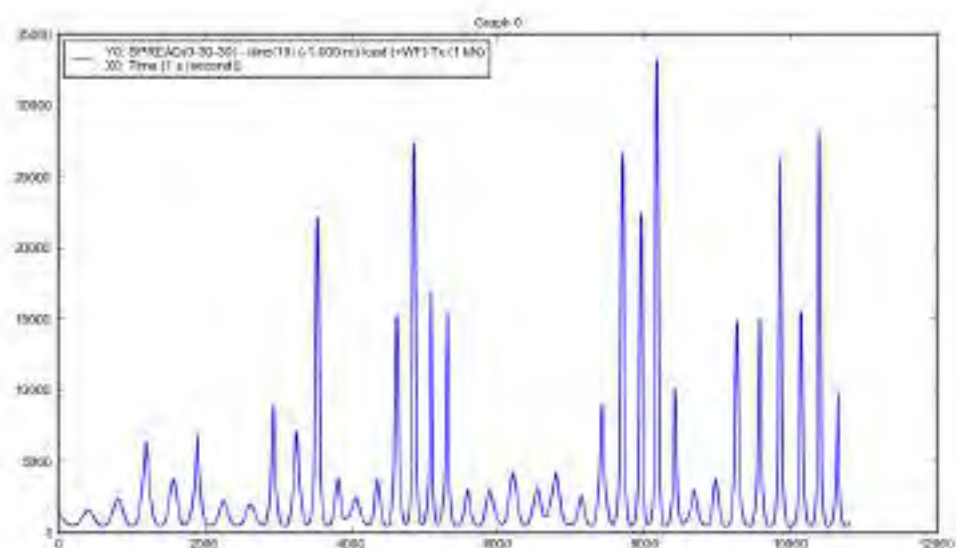


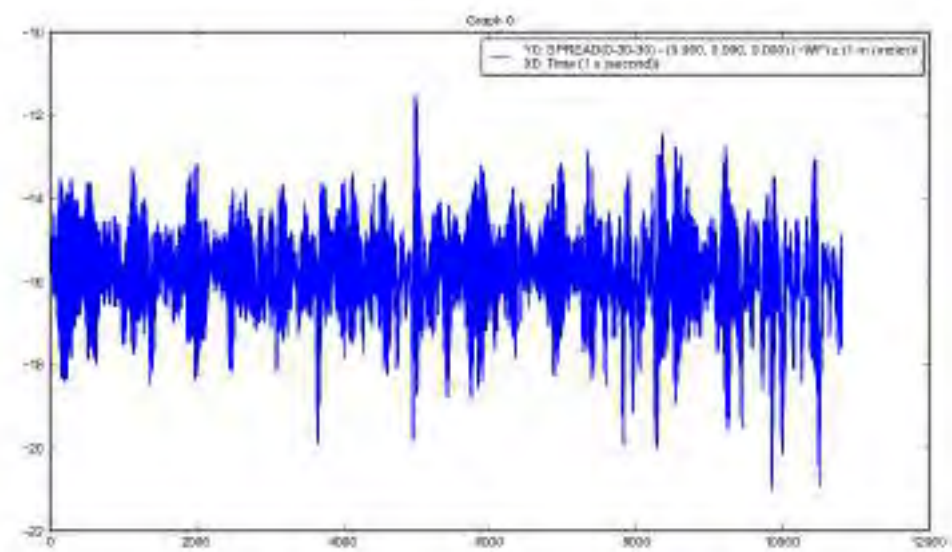
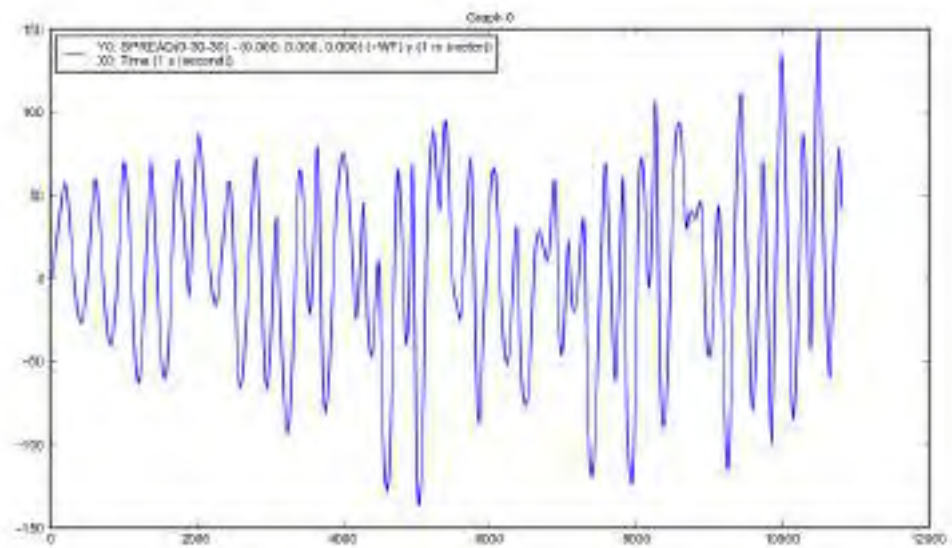
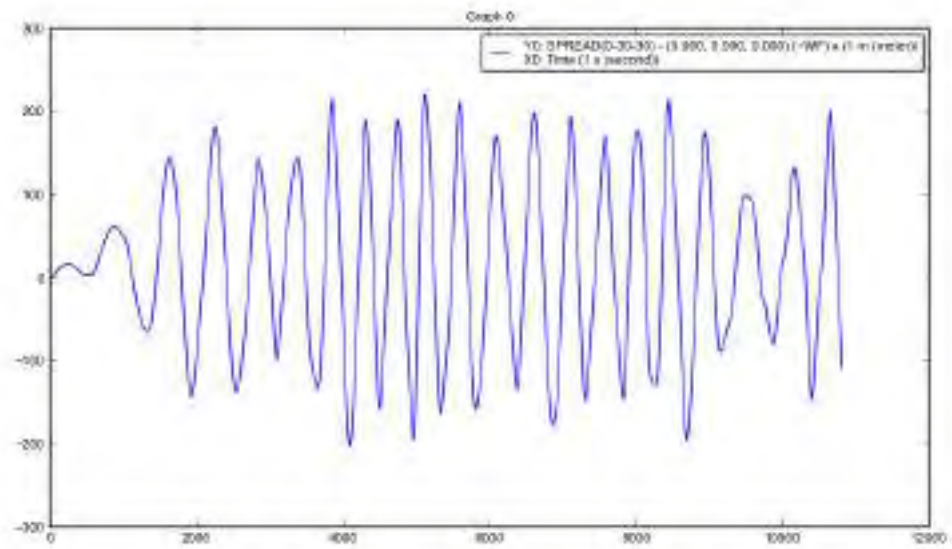
b) Konfigurasi Spread

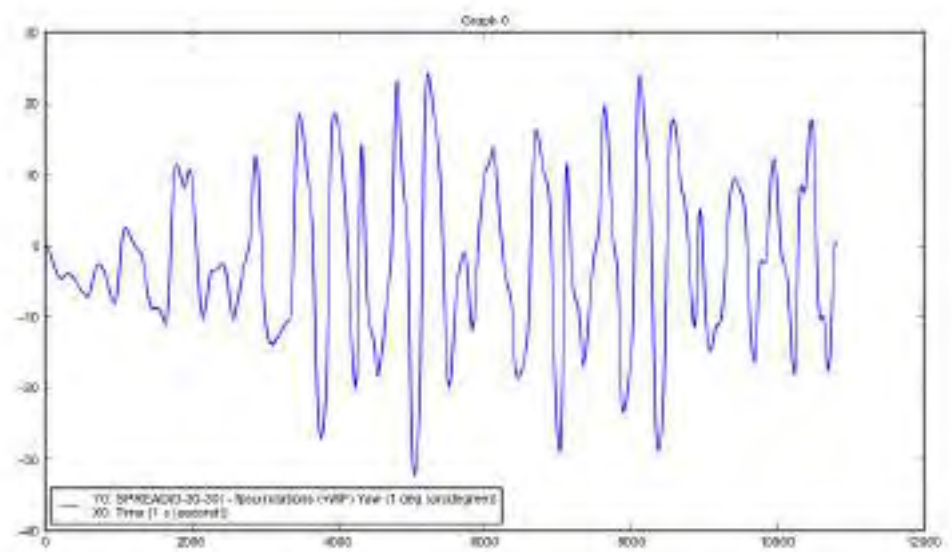
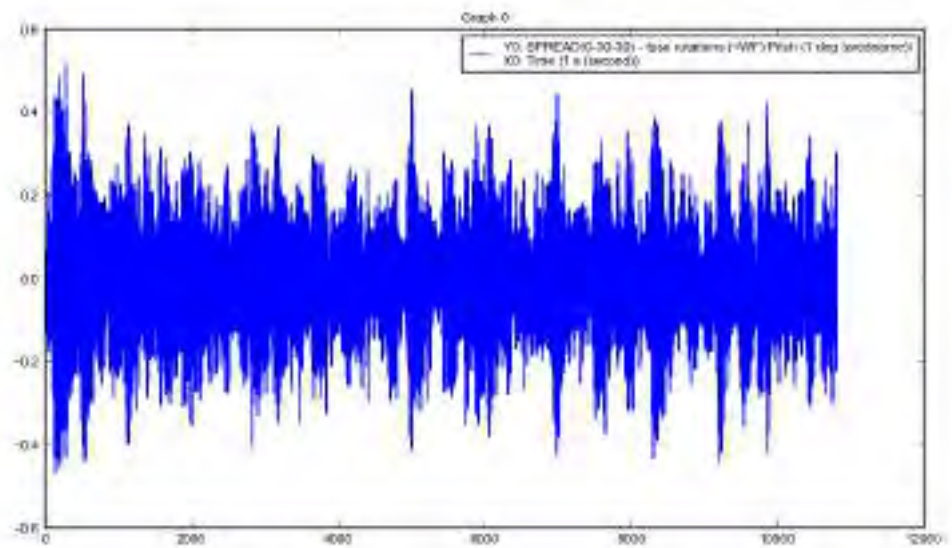
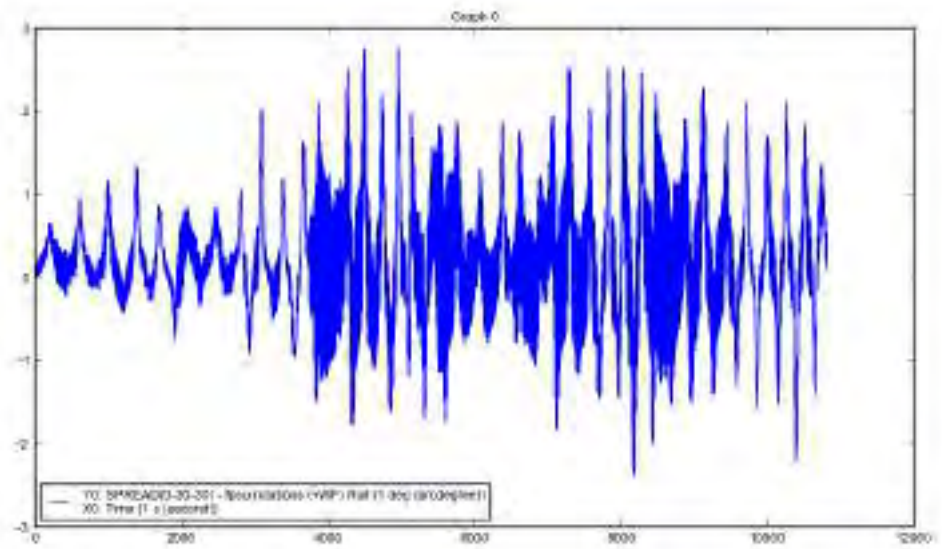








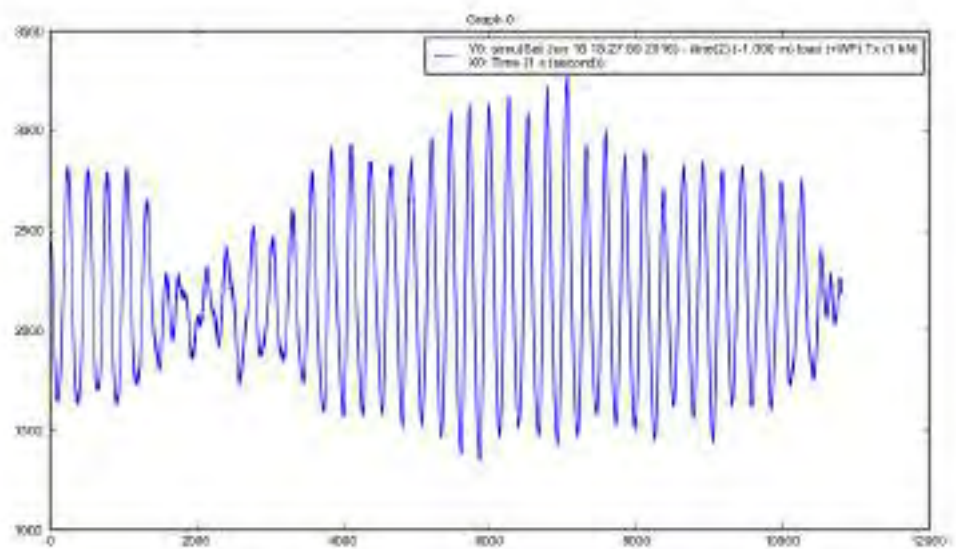
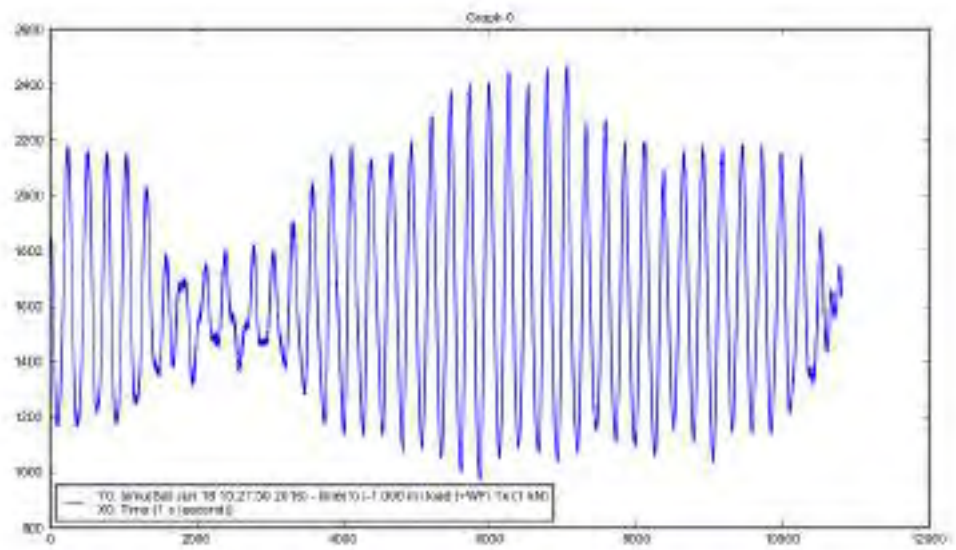


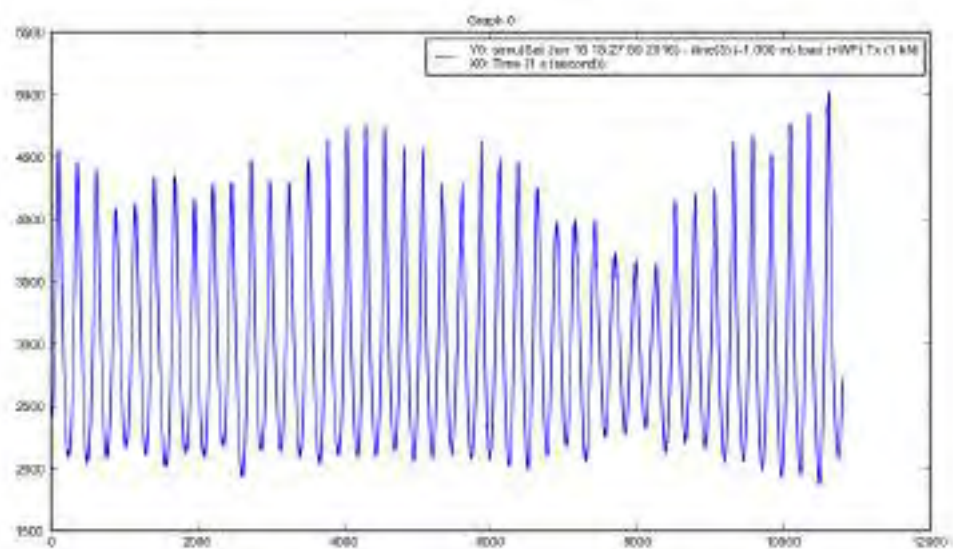
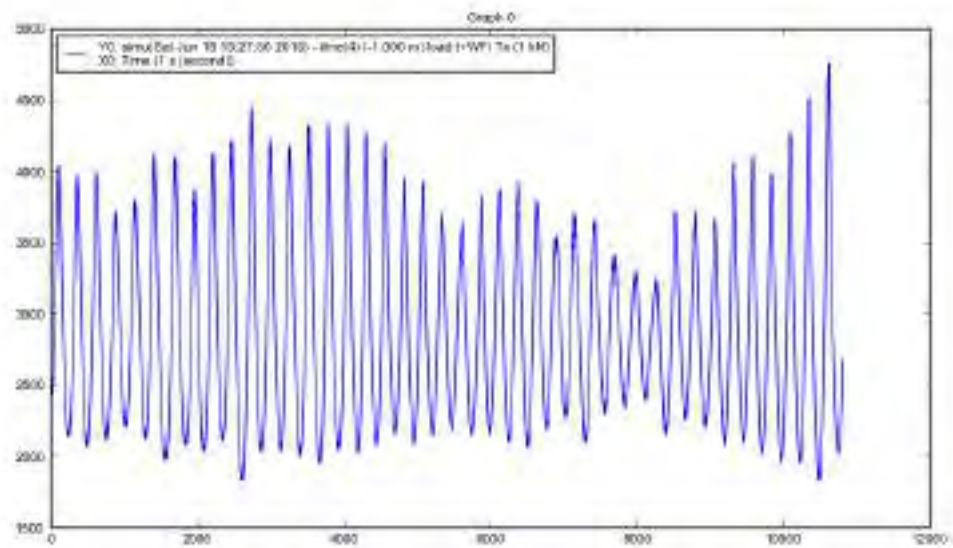
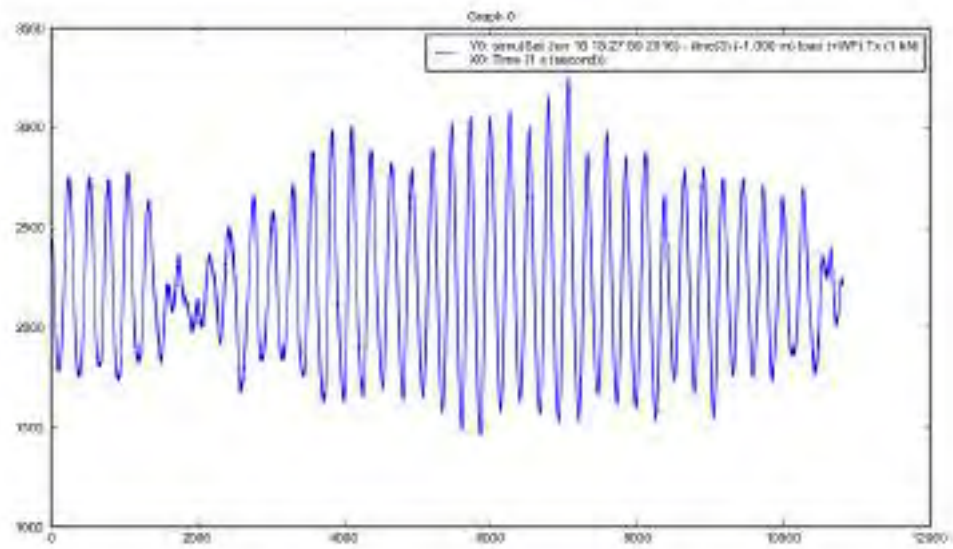


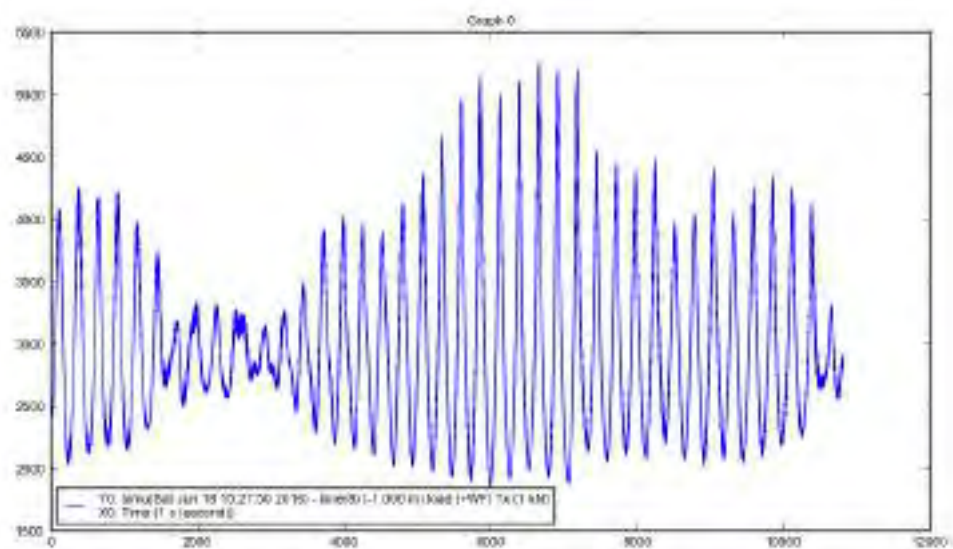
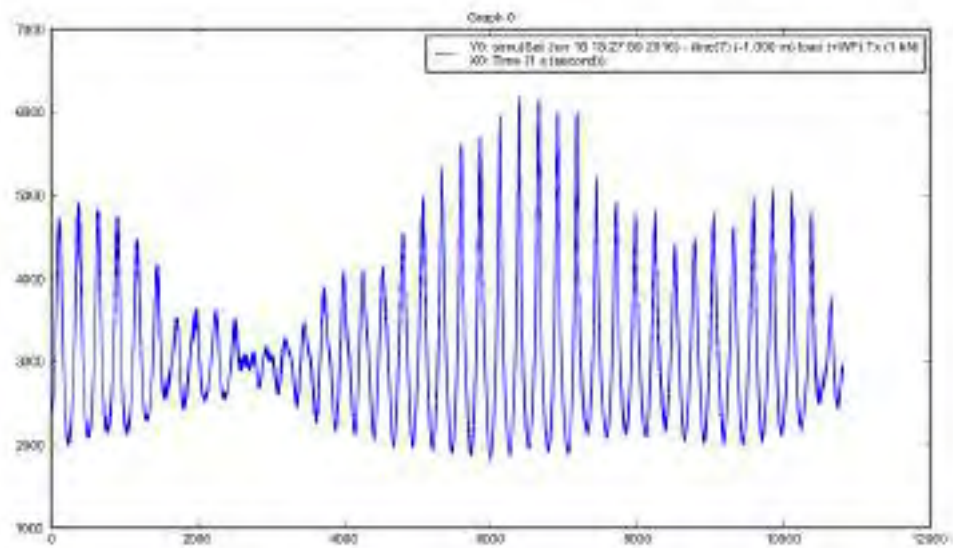
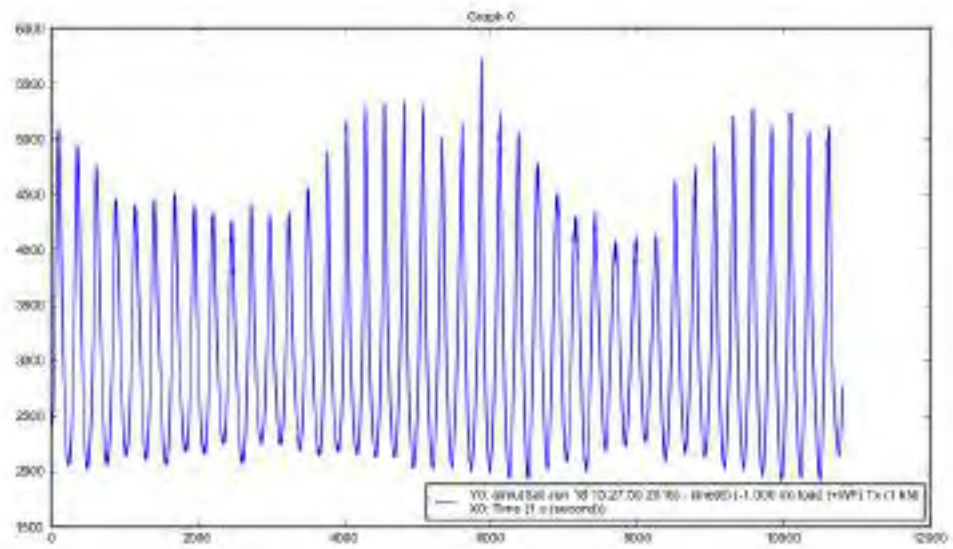
2.3 Tension dan Offset Pembebanan Non-Collinear II

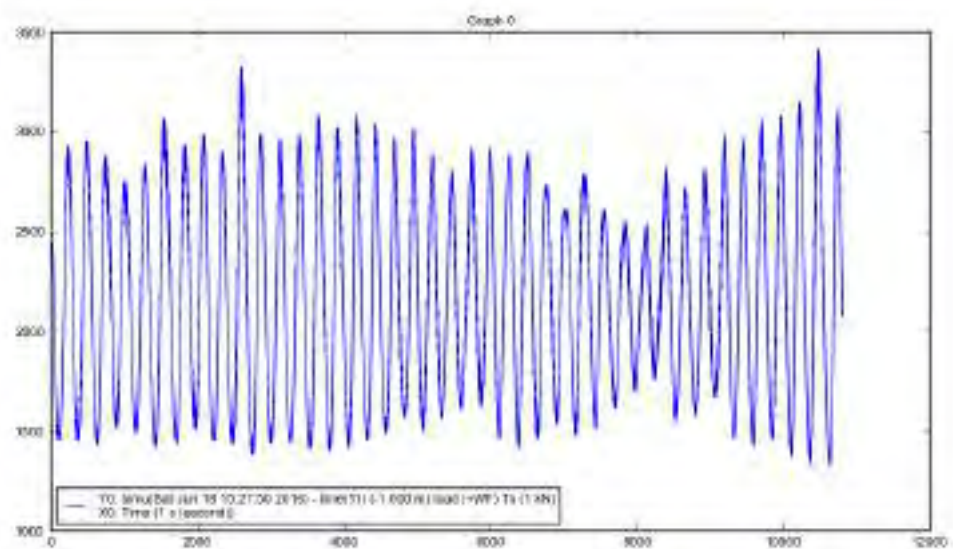
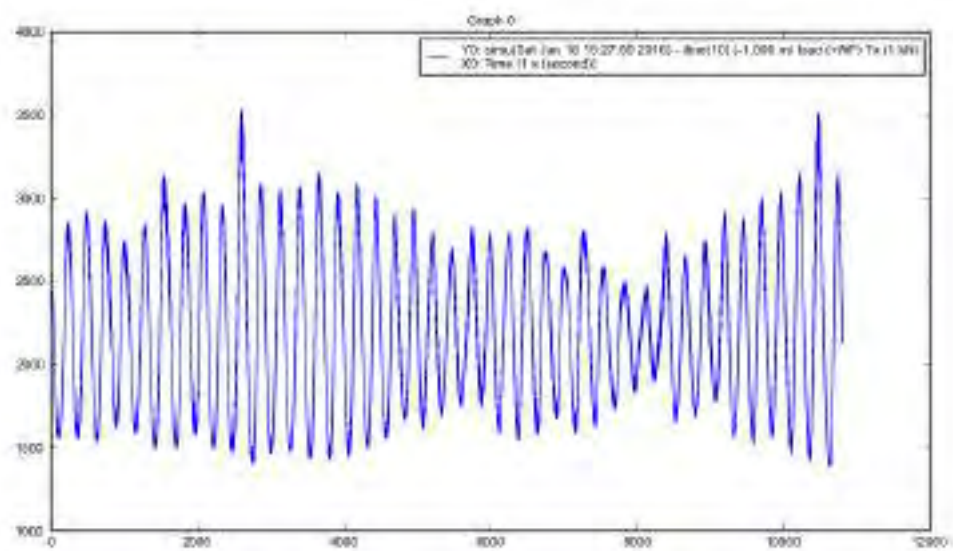
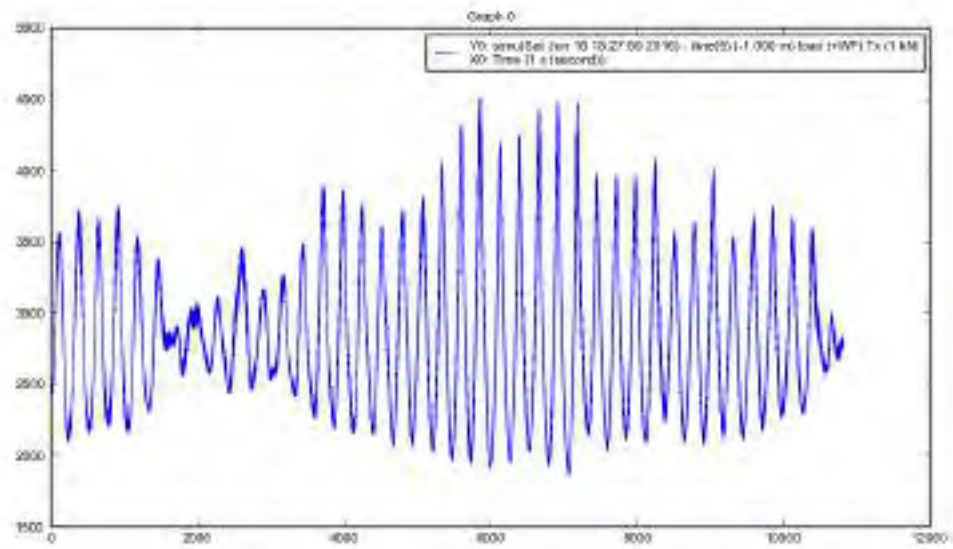
2.3.1 Arah Pembebanan 0 ° -30 ° -60 °

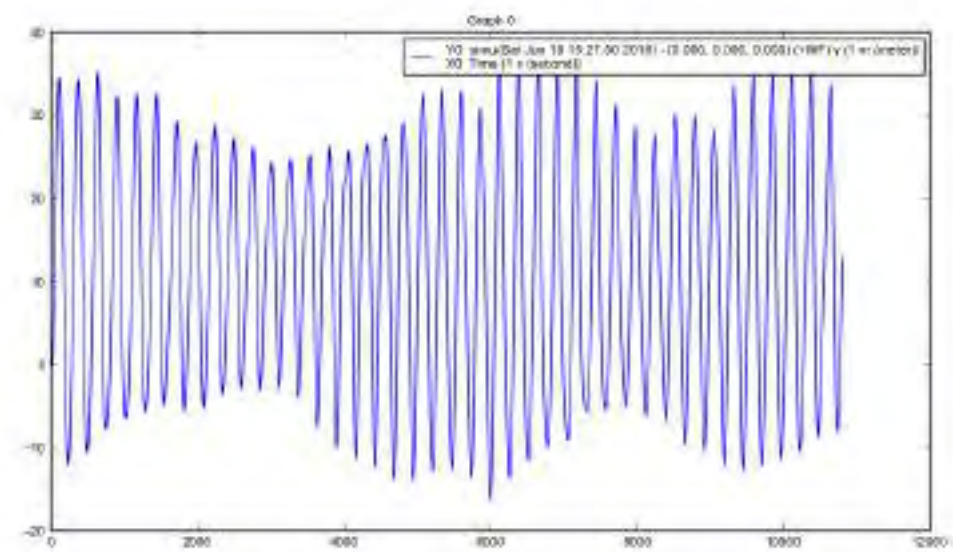
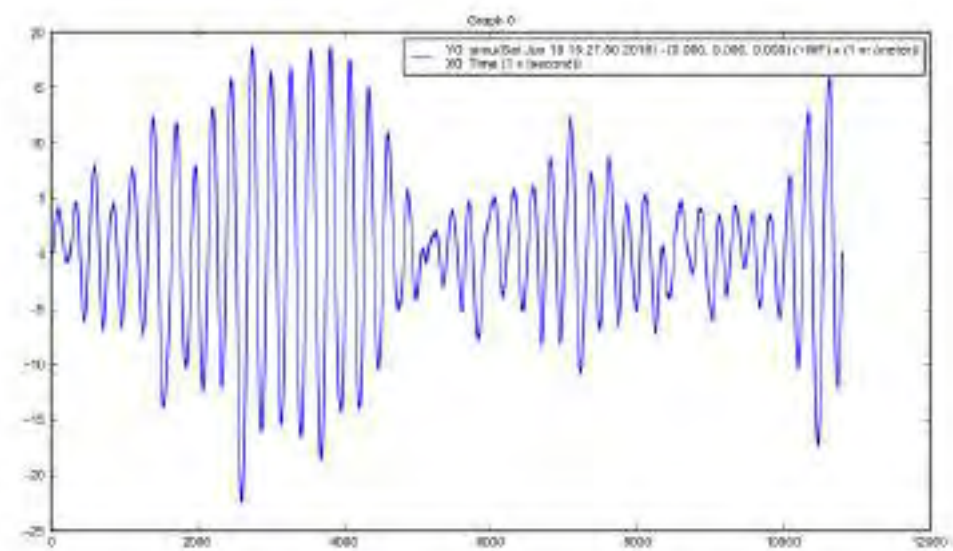
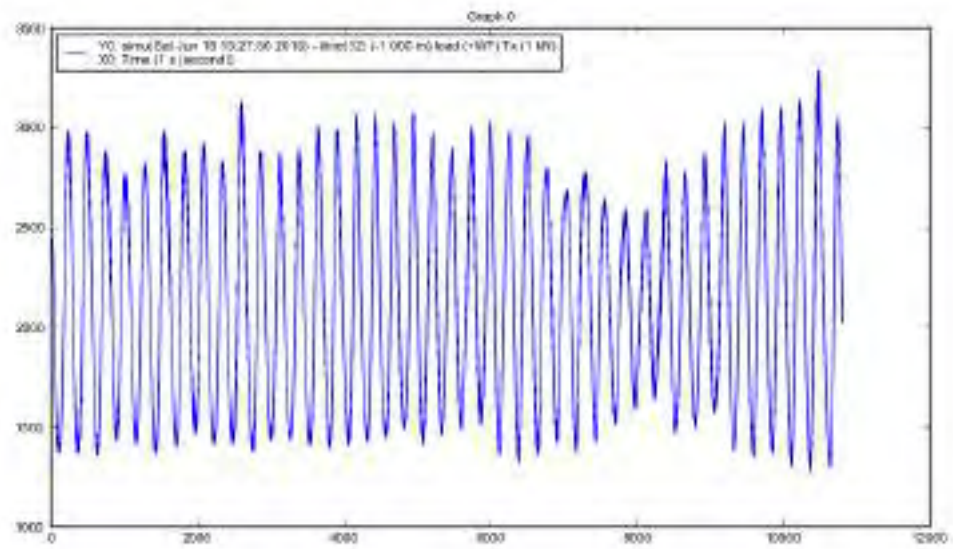
a) Konfigurasi Group

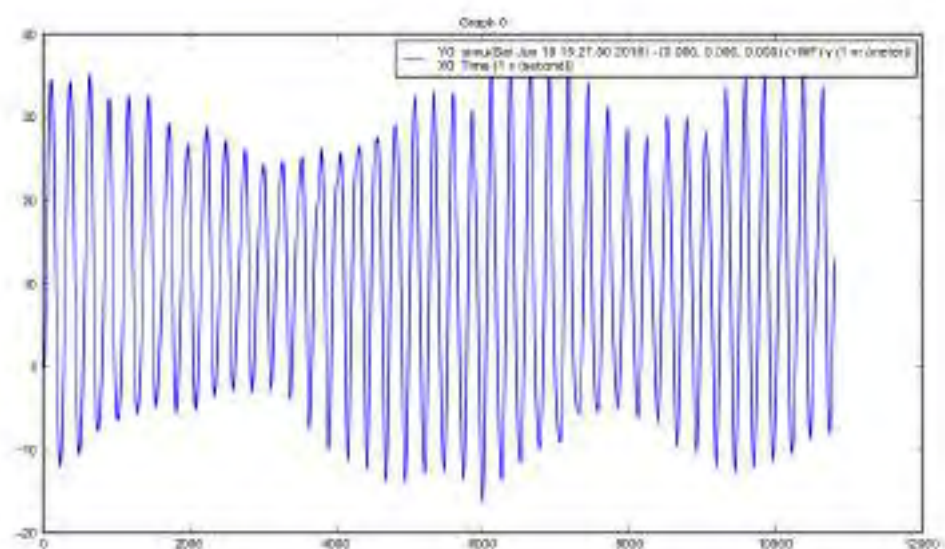
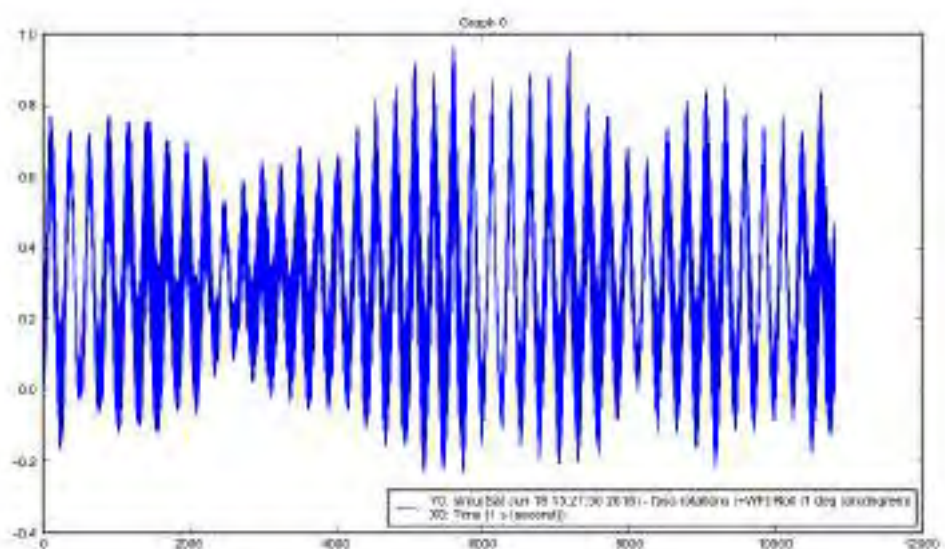
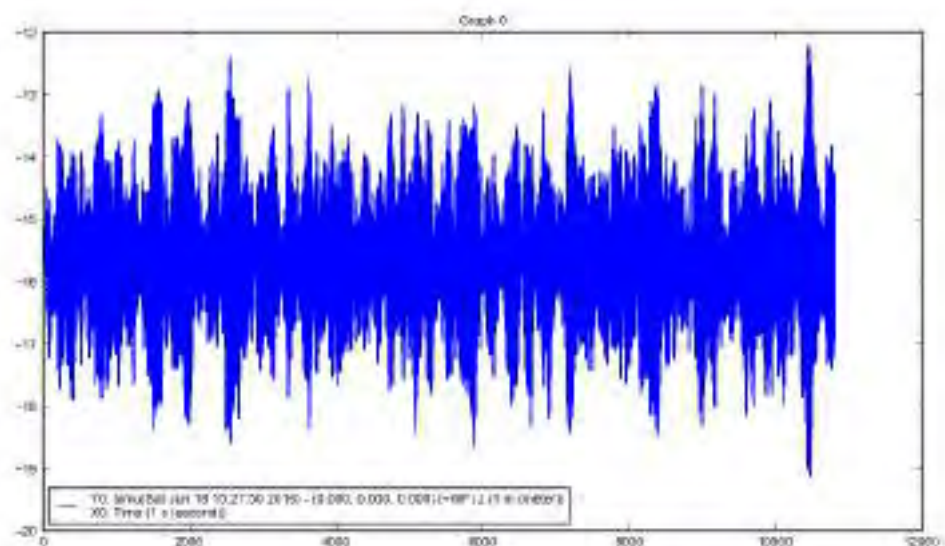


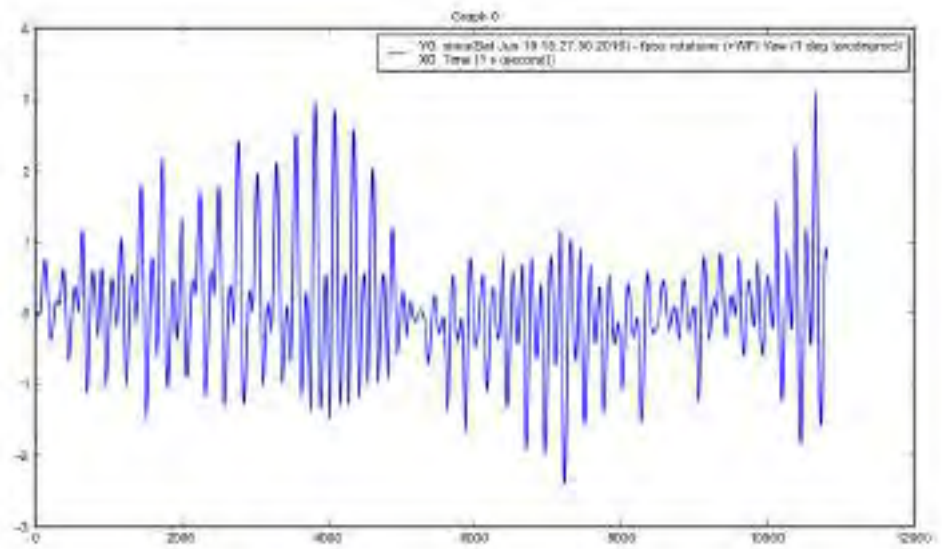




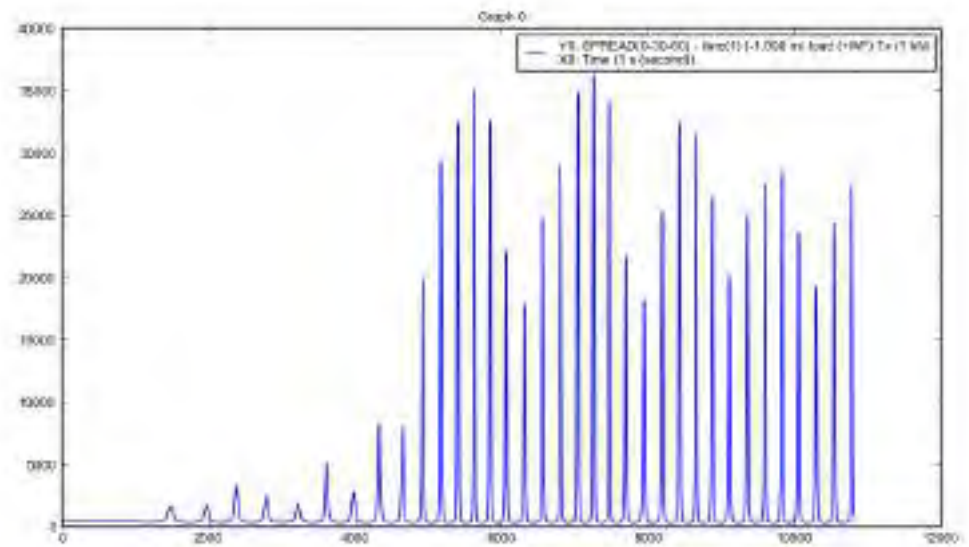


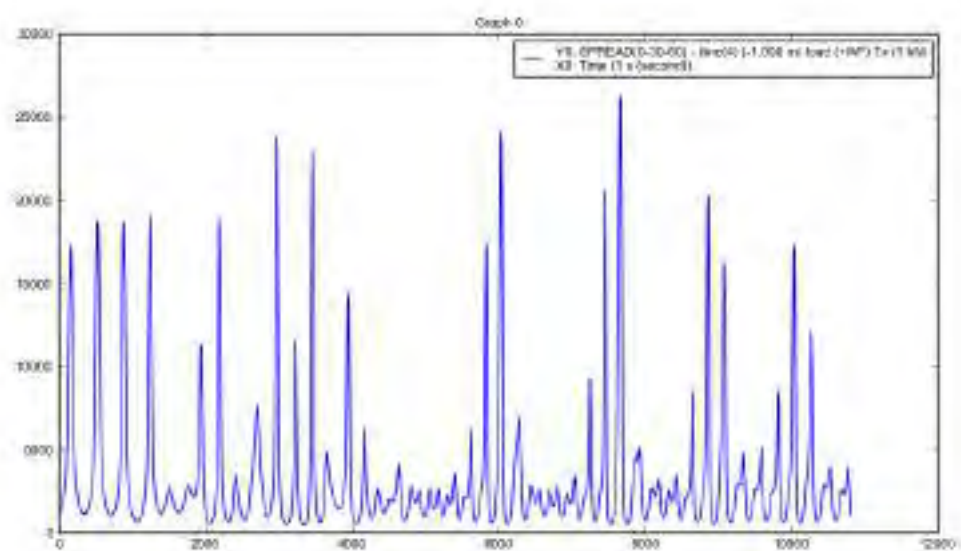
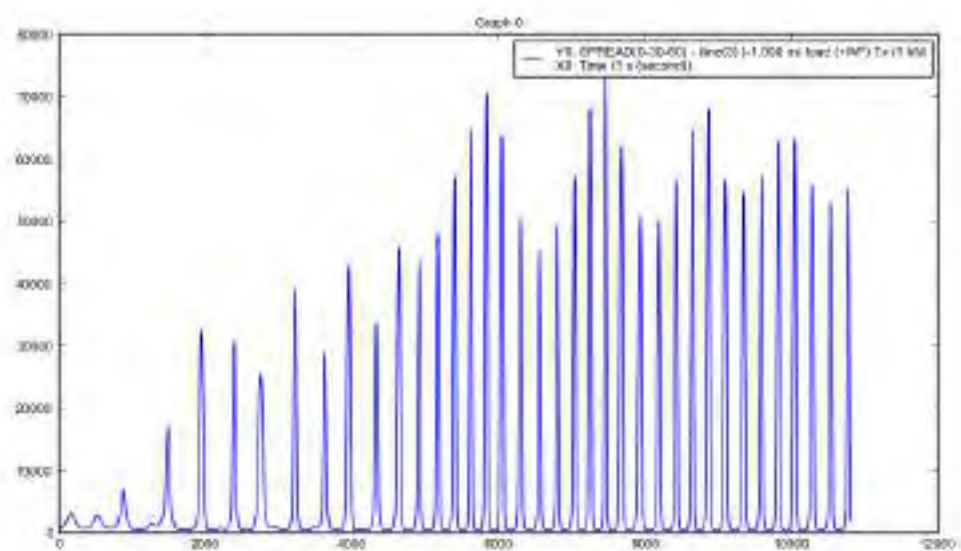
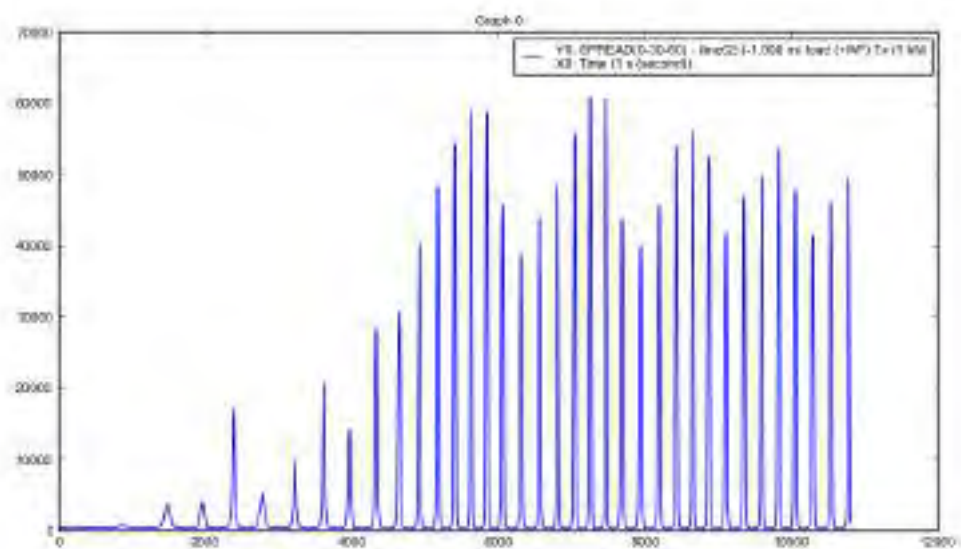


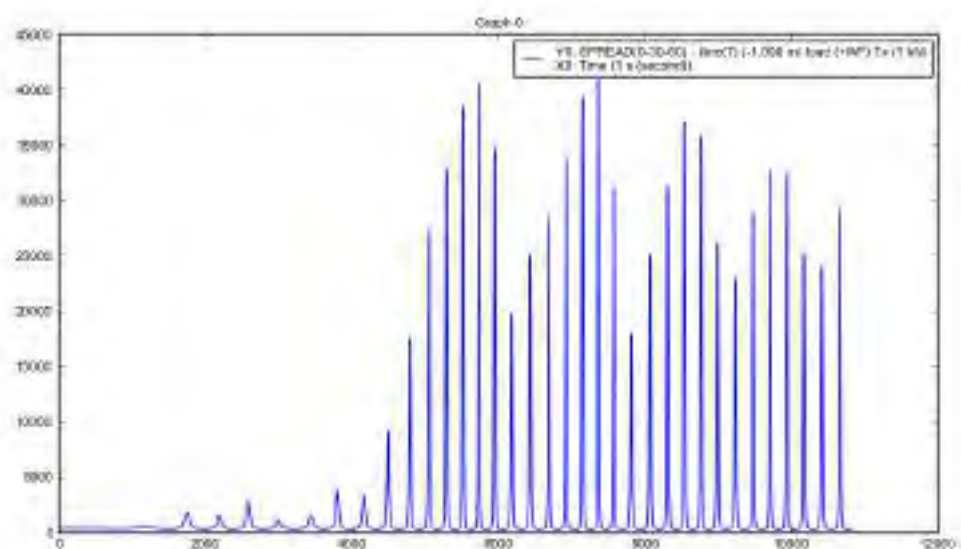
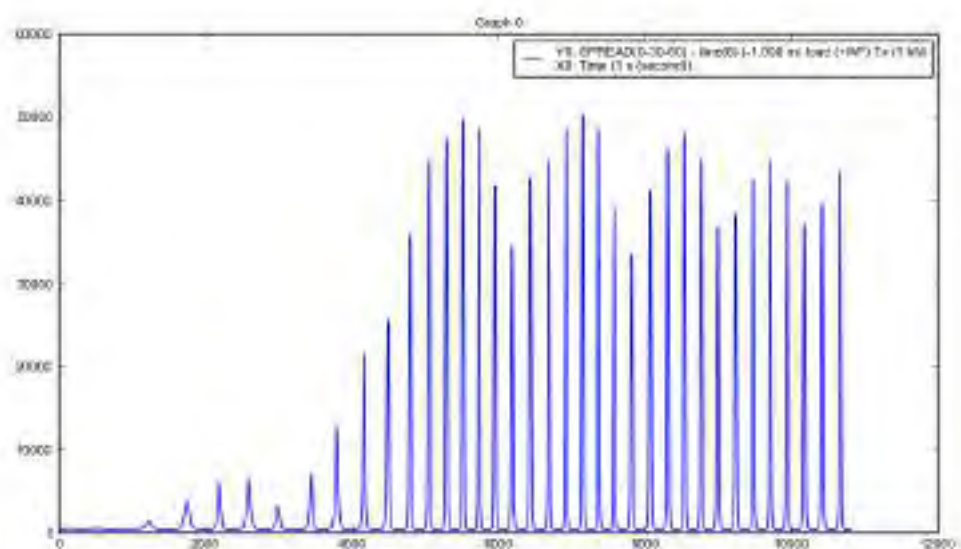
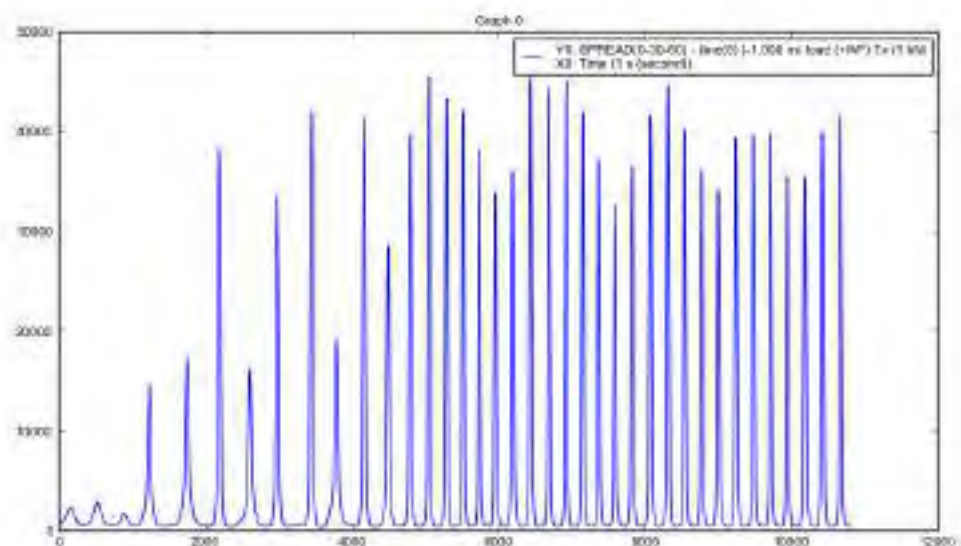


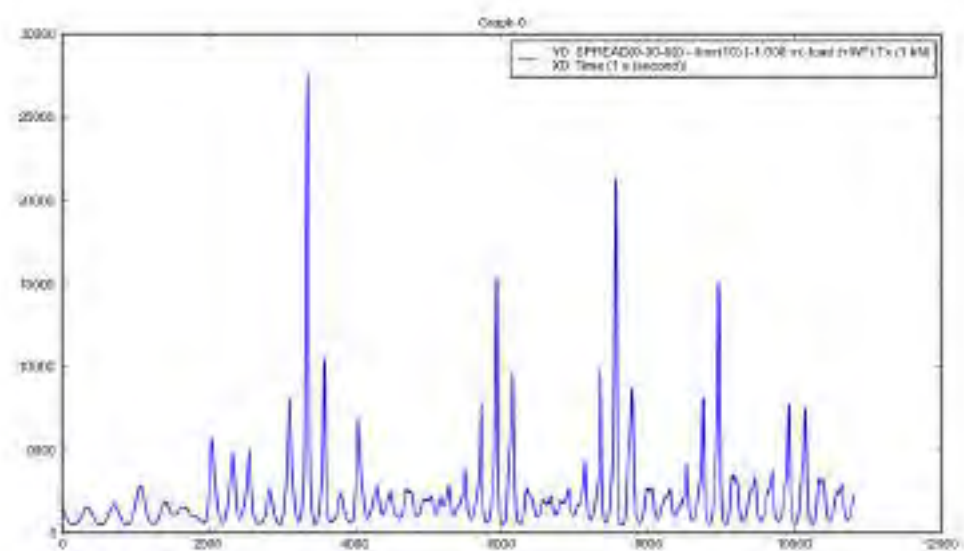
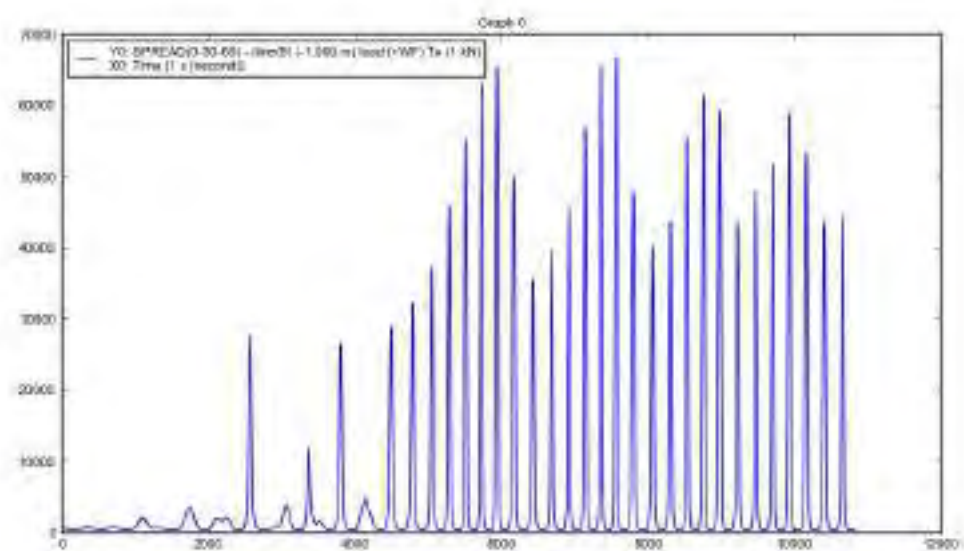
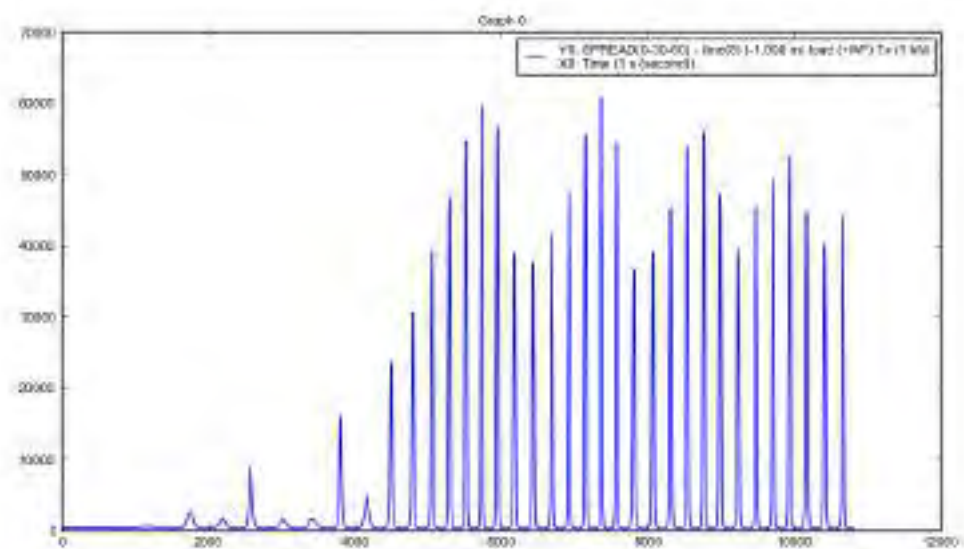


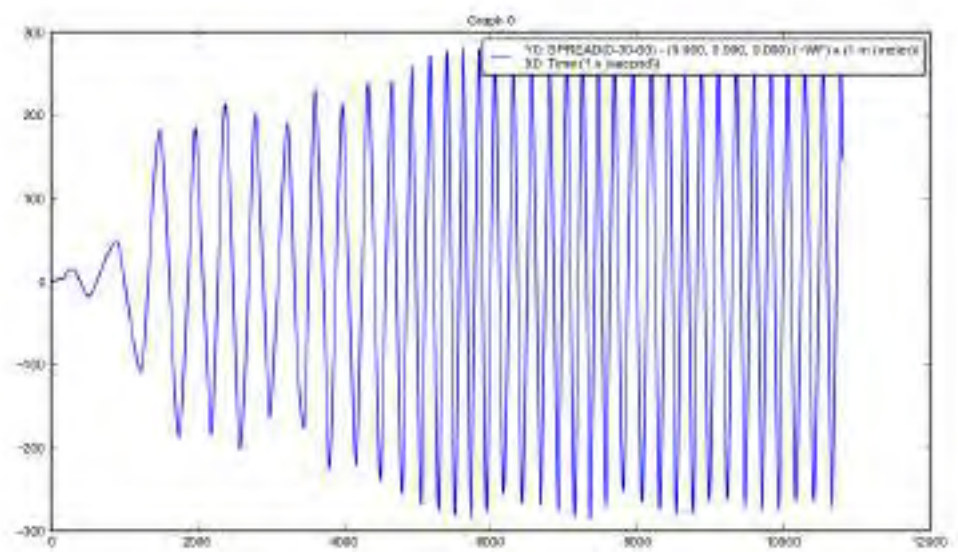
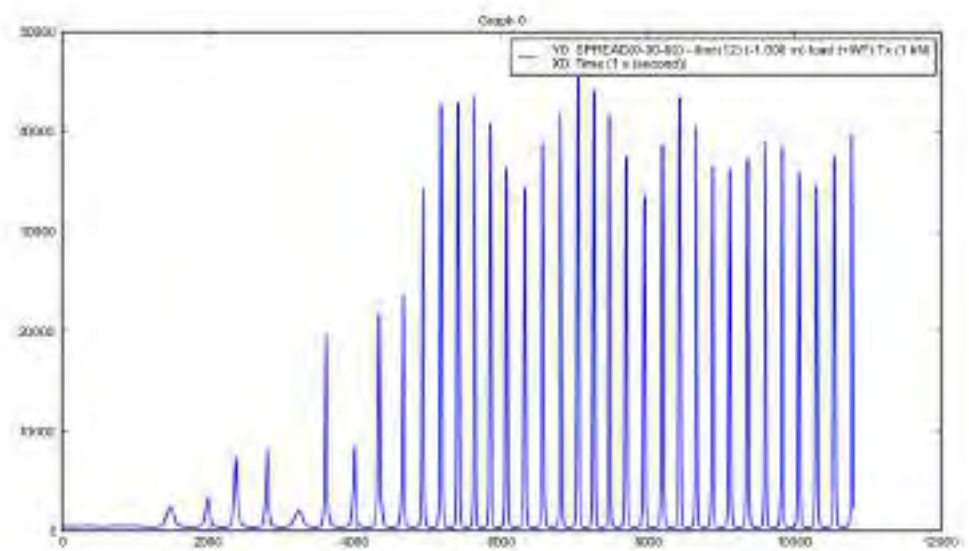
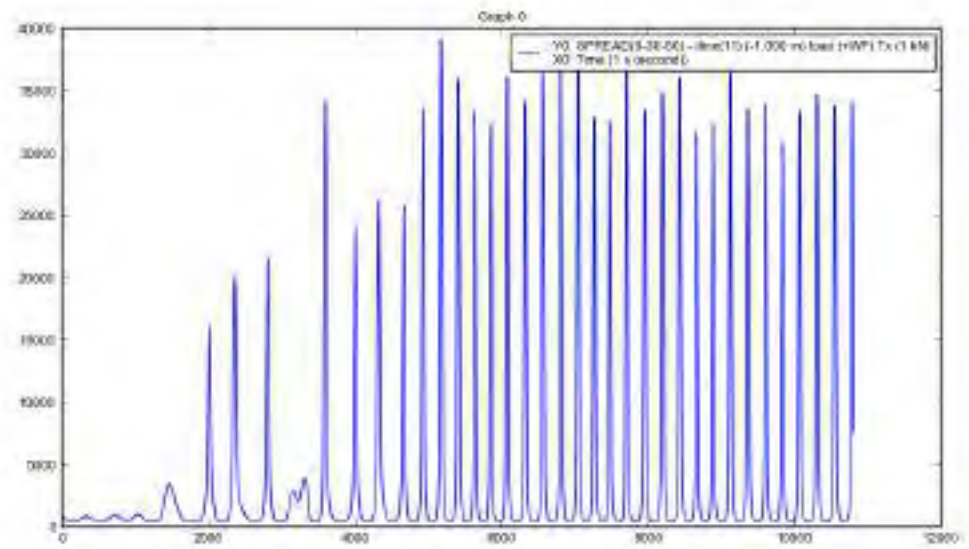
b) Konfigurasi Spread

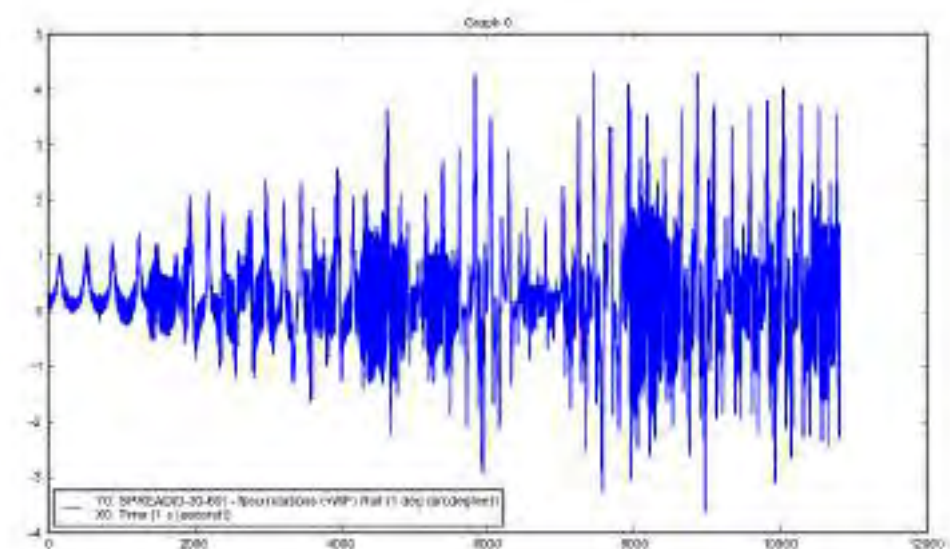
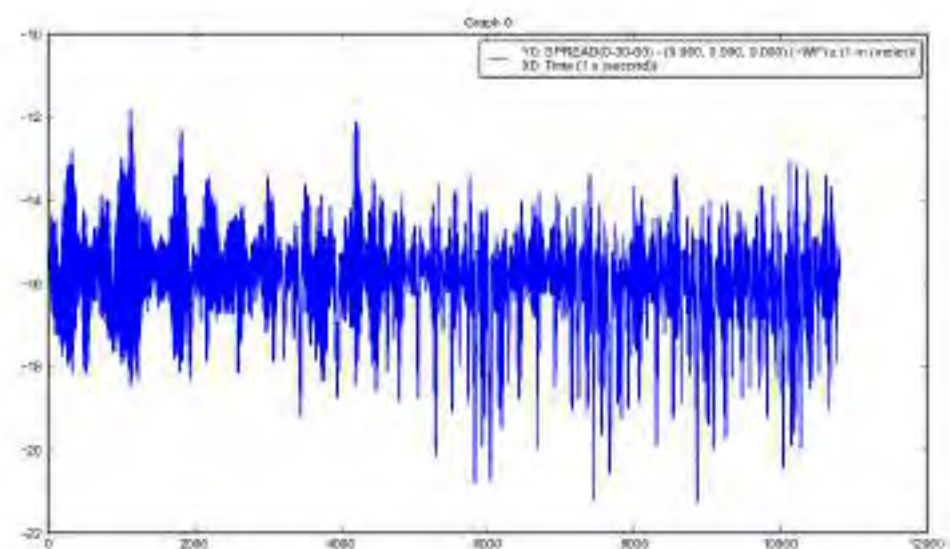
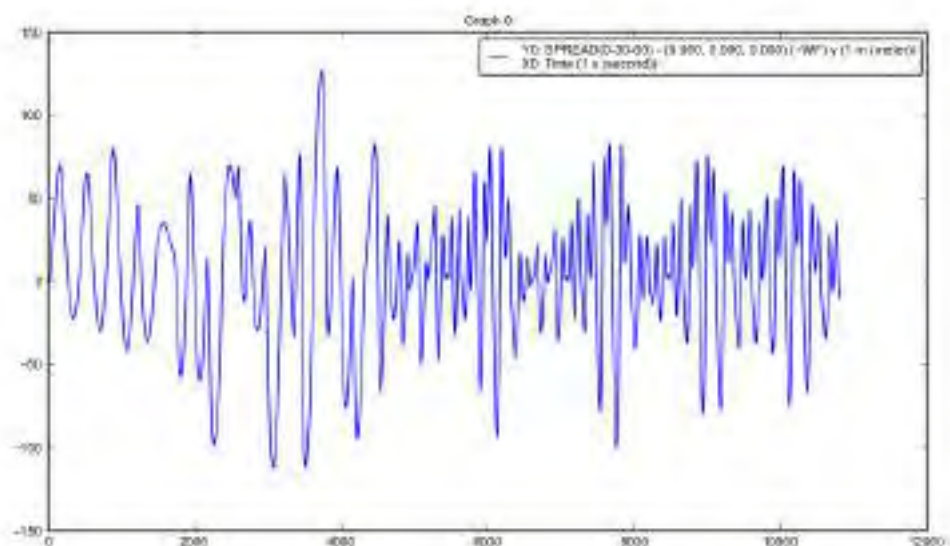


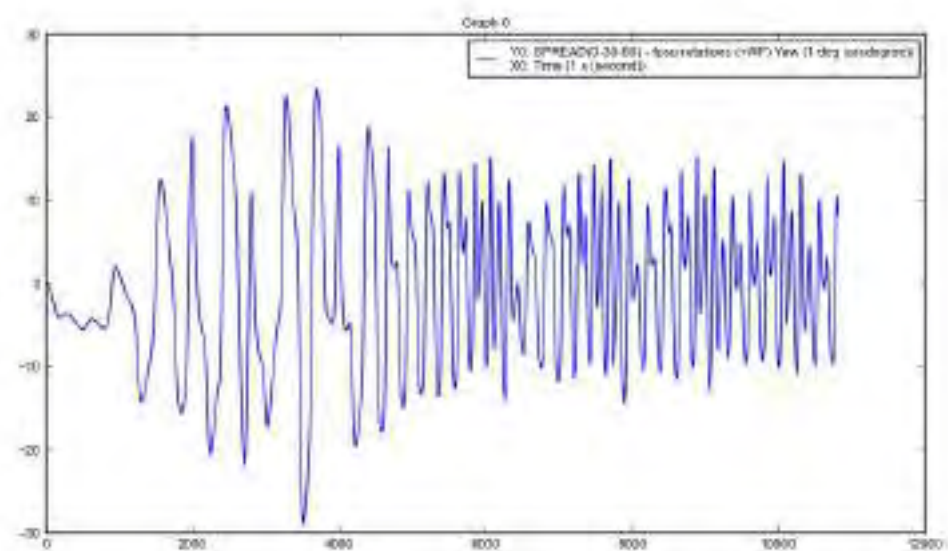
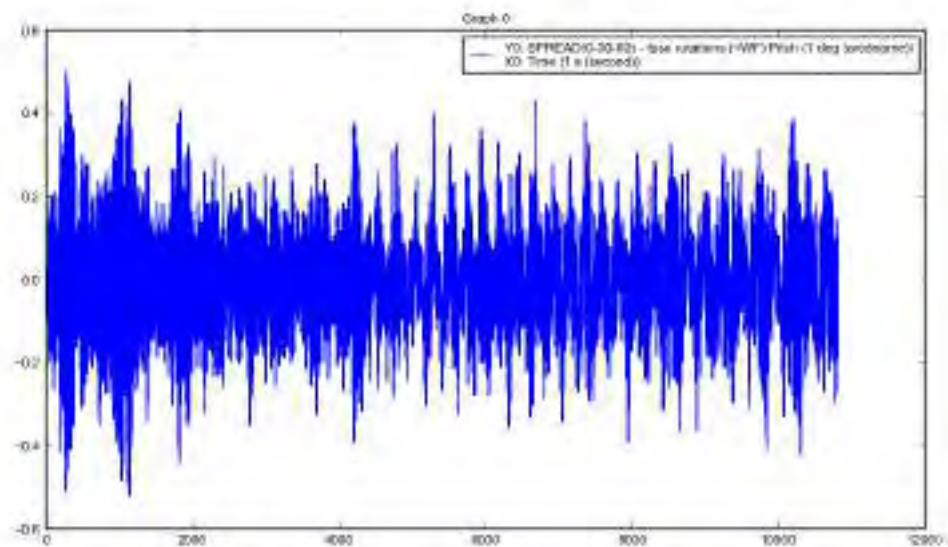












BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Analisis yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan yang berisi jawaban atas permasalahan yang dikemukakan dalam laporan tugas akhir ini. Berikut ini adalah kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini.

1. Karakteristik gerak FLNG Masela menghasilkan nilai yang bervariasi pada kondisi *freefloating* dalam enam derajat kebebasan, Untuk gerakan translasional *Surge* bernilai 1,01 m/m pada arah beban lingkungan 0° , *Sway* bernilai 0,99 m/m pada arah beban lingkungan 90° , dan *Heave* sebesar 1.34 m/m pada arah pembebanan 90° . Sedangkan untuk gerakan rotasional, gerakan *Roll* bernilai 1.85 deg/m pada arah pembebanan 90° , *Pitch* bernilai 0,41 deg/m pada arah pembebanan 180° , dan *Yaw* bernilai 0,23 deg/m pada arah pembebanan 45° dan 90° .

2. Pada kondisi arah pembebanan *collinear*, konfigurasi *Group* menghasilkan nilai *tension* dan *offset* yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Spread*.

Tension terbesar yang dihasilkan oleh konfigurasi *mooring Spread* terjadi pada arah pembebanan 90° , sebesar 62221,50 kN Sedangkan untuk konfigurasi *Group*, *tension* terbesar terjadi pada arah pembebanan 90° sebesar 16783,95 kN. *Offset* yang dihasilkan oleh *Spread* menghasilkan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan konfigurasi *Group*. Nilai *offset* terbesar pada konfigurasi *Spread* terjadi pada arah pembebanan 90° sebesar 342,54 m terhadap arah sumbu y, sedangkan *offset* terbesar pada konfigurasi *Group* terjadi pada arah pembebanan 90° sebesar 104 m terhadap arah sumbu y.

3. Pada kondisi arah pembebanan *non-collinear I*, konfigurasi *Group* menghasilkan nilai *tension* dan *offset* yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Spread*.

Tension terbesar yang dihasilkan oleh konfigurasi *Spread* terjadi pada arah pembebanan 45° - 75° - 75° , sebesar 55063,89 kN. Sedangkan untuk konfigurasi *Group*, *tension* terbesar terjadi pada arah pembebanan 90° - 120° -

120° sebesar 15657,46 kN. Nilai *offset* terbesar pada konfigurasi *Spread* terjadi pada arah pembebanan 45°-75°-75° sebesar 322,74 m terhadap arah sumbu y, sedangkan *offset* terbesar pada konfigurasi *Group* terjadi pada arah pembebanan 90°-120°-120° sebesar 89,04 m terhadap arah sumbu y.

Pada kondisi arah pembebanan *non-collinear* II, konfigurasi *Group* menghasilkan nilai *tension* dan *offset* yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Spread*.

Tension terbesar pada konfigurasi *Spread* terjadi pada arah pembebanan 45°-75°-105°, sebesar 52035,39 kN. Sedangkan untuk konfigurasi *Group*, *tension* terbesar terjadi pada arah pembebanan 90°-120°-150° dengan nilai sebesar 20607,03 kN. Nilai *offset* terbesar untuk konfigurasi *Spread* terjadi pada arah pembebanan 45°-75°-105° sebesar 322,56 m terhadap arah sumbu y, sedangkan *offset* terbesar pada konfigurasi *Group* terjadi pada arah pembebanan 90°-120°-150° sebesar 80,95 m terhadap arah sumbu y.

Berdasarkan hasil analisis untuk kondisi *ballast* pada arah pembebanan *collinear* 90°, konfigurasi *Spread* mengalami kenaikan *tension* sebesar 186% dari kondisi *full load*, sedangkan untuk konfigurasi *Group* mengalami kenaikan 209% dari kondisi *full load*

5.2. Saran

Beberapa hal yang dapat dijadikan saran yang sifatnya membangun penelitian selanjutnya diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Analisis dapat dilakukan dengan menggunakan kondisi lingkungan yang ditentukan oleh *Lloyd Register* dengan interval arah datang beban lingkungan terbesar untuk kondisi *collinear* sebesar 15°, dan 22,5° untuk arah datang beban lingkungan kondisi *non-collinear*, penelitian selanjutnya dapat diberi judul “Analisis Spread Mooring System pada FLNG Masela mangacu pada *Lloyd Register: “Floating Offshore Installation”*”
- b. Menambahkan analisis pada keadaan ALS (*Accidental Limit State*) pada kondisi dimana tali tambat menerima beban paling besar pada setiap

kondisi pembebanan, penelitian selanjutnya dapat diberi judul “ Analisis *Spread Mooring System* pada *FLNG* Masela pada kondisi ULS dan ALS”

- c. Melakukan permodelan ulang untuk sistem tambat *Spread Mooring* pada *FLNG* Masela untuk memenuhi kriteria *Safety factor* dan *Offset limitation* yang ditentukan pada API RP 2SK, penelitian selanjutnya dapat diberi judul “ Desain Sistem Tambat *Spread Mooring*, Studi Kasus : *FLNG* Masela, Mengacu pada API RP 2SK.
- d. Melanjutkan penelitian untuk melihat umur kelelahan pada tali untuk kedua konfigurasi *mooring*, penelitian selanjutnya dapat diberi judul “ Studi Komparasi Umur Kelelahan Tali Tambat *FLNG* Masela”

DAFTAR PUSTAKA

- Aage, Christian, dkk., 1997, *The Specialist Committee on Deep Water Mooring*, Final Report and Recommendations to the 22nd ITTC, Denmark
- American Bureau of Shipping, 2012, *Rules for Building and Classing Mobile Offshore Drilling Units*. USA: American Bureau of Shipping
- API RP 2P., 1987. *Recommended Practice for the Analysis of Spread Mooring Systems for Floating Drilling Units*. Washington, DC: American Petroleum Institute.
- API RP 2SK., 2005. *Recommended Practice for Design and Analysis of Station Keeping Systems for Floating Structures*. Washington, DC: American Petroleum Institute.
- Aryawan, I., 2005, “*Hydrodynamics of Floating Offshore Structures*”, Lloyd's Register EMEA – Aberdeen.
- Baar, J.J.M, Heyl, C.N. & Rodenbusch, G. 2000 *Extreme Responses of Turret Moorer Tankers*. Proc. Offshore Technology Conference, OTC 12147 [CD-ROM], Houston, Texas
- Bhattacharyya, R., 1978. *Dynamics of Marine Vehicles*. New York: John Wiley & Sons, Inc. .
- Bureau Veritas, 2014. *Hydrostar for Experts User Manual*. France. Hydrostar for Experts Document
- Bureau Veritas, 2014. *Ariane User Manual*. France. Ariane Document
- Chakrabarti, S.K., Capagnoglu, C., and Halkyard, J. 2005. *An Overview Of The Reassessment Studies Of Fixed Offshore Platforms In The Bay Of Campeche, Mexico. Proceedings of OMAE 2005 Halkidiki*, Greece: June 12-16, 2005.
- Chakrabarti, S.K., 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structures*. Boston, USA: Computational Mechanics Publications Southampton.
- Chen, X.B et al, 1994. *Recent Advance on The Slow – Drift Damping of Offshore Structures*. France . Hydrostar Experts Documents
- Chen, X.B and S. Malenica, 1998. *Interaction Effects of Steady Flow on Wave Diffraction Radiation at Low Forward Spread*. France . Hydrostar Experts Documents

- Djarmiko, E.B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan ITS.
- DNV RP-C205, 2005, Environmental Conditions and Environmental Loads
- Id.wikipedia.com, 2012. *Blok Masela*
- Indiyono, P., 2003. *Hidrodinamika Bangunan Lepas Pantai*. Surabaya: SIC.
- Faltinsen, O.M., 1990, “*Sea Loads On Ships And Offshore Structures*”, United Kingdom : Cambridge University Press.
- H.A Haslum, Technip Offshore. 2005. *Red Hawk Polyester Mooring System Design and Verification*. OTC17247. Texas, USA.
- Kim dan Bernitsas, 2001, *Nonlinier dynamics and stability of spread mooring with riser*, Journal of Applied Ocean Research 23 111-123, USA.
- Liu, Yingzhong and Miao Guoping.1998. “*Theory of motion of ships on waves*”. Shanghai Jiao Tong University Press.
- Lloyd Register, 2013, “*Clasification of a Floating Offshore Installation on a Fixed Location*” London, UK.
- OCIMF, 1992, “*Mooring Equipment Guidelines*”, UK
- Patel, M. H. dan Witz, J. A., 1991, “*Compliant Offshore Structures*”, Butterworth-Heinemann Ltd, London.
- PT. Perusahaan Gas Negara (Persero) Tbk.,2010, *Desain Penambatan Struktur Terapung*, DPE-00-OE-RE-001-A4, PT. PGN
- Slamet, S., 2013, *Analisa Variasi Konfigurasi Sudut Sebar Sitem Spread Mooring pada Semi-submersible “Essar Wildcat”*, Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya
- Šime M. And Chen X.B , 1998, *On the Irregular Frequencies Appearing in Wave Diffraction - Radiation Solutions*. France. Hydrostar Experts Manual
- Soedjono, J. J., 1998, “*Diktat Mata kuliah Konstruksi Bangunan Laut II*”, Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya.
- Soetomo, J., 2010, “*Diktat Mata Kuliah Hidrodinamika II*”, Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya.
- Wichers, J.E.W. (1988).“*Wave-current Interaction Effects on Moored Tankers in High Seas*”. *Offshore Technology Conf*. Paper No. OTC5631, Houston.

Yilmaz, O. dan Incecik, A., 1994, “*Hydrodynamic Design of Moored Floating Platforms*”, Journal of Marine Structures, Great Britain,UK

BIODATA PENULIS



Vikry Cendekiawan dilahirkan di Jakarta pada tanggal 7 januari 1994, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di Madrasah Pembangunan UIN, Jakarta pada tahun 2000-2006. Kemudian melanjutkan pendidikan sekolah di SMPN 85 Jakarta pada tahun 2006-2009 dan SMAN 70 Jakarta pada tahun 2009-2012. Setelah lulus SMA pada tahun 2012, penulis diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui program mandiri dan terdaftar dengan NRP 4312100061. Selama menempuh masa perkuliahan, penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan seperti Himpunan Mahasiswa-Teknik kelautan, OCEANO, Ocean Engineering Underwater Robotic Club, pengurus lab. Hidrodinamika. Pada tahun 2015 penulis berkesempatan melaksanakan kerja praktek di perusahaan Global Maritim Indonesia selama dua bulan. Selama masa studi strata 1 yang ditempuh selama 4 tahun, penulis tertarik dalam bidang hidrodinamika dan perancangan struktur bangunan laut sehingga dalam tugas akhir ini mengambil topik analisis *mooring line*

Kontak Penulis :

Email : **vikrycendekiawan@gmail.com**

Telepon : 081282165433

Line ID : vikrycendekiawan